

Akustička karakterizacija uređaja na osnovi ocjene parametara zvučne slike

Horvat, Marko

Doctoral thesis / Disertacija

2010

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Electrical Engineering and Computing / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:168:895966>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



Repository / Repozitorij:

[FER Repository - University of Zagreb Faculty of Electrical Engineering and Computing repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

Marko Horvat

**AKUSTIČKA KARAKTERIZACIJA
UREĐAJA NA OSNOVI OCJENE
PARAMETARA ZVUČNE SLIKE**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Zagreb, 2010.

Doktorska disertacija izrađena je na Sveučilištu u Zagrebu, Fakultetu elektrotehnike i računarstva, na Zavodu za elektroakustiku.

Mentor: prof.dr.sc. Hrvoje Domitrović

Doktorska disertacija ima 261 stranicu.

Disertacija br.:

Povjerenstvo za ocjenu doktorske disertacije:

1. Dr.sc. Bojan Ivančević, redoviti profesor
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva
2. Dr.sc. Hrvoje Domitrović, izvanredni profesor
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva
3. Dr.sc. Tino Bucak, izvanredni profesor
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti

Povjerenstvo za obranu doktorske disertacije:

1. Dr.sc. Bojan Ivančević, redoviti profesor
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva
2. Dr.sc. Hrvoje Domitrović, izvanredni profesor
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva
3. Dr.sc. Tino Bucak, izvanredni profesor
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti
4. Dr.sc. Sonja Grgić, redovita profesorica
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva
5. Dr.sc. Kristian Jambrošić, docent
Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva

Datum obrane disertacije: 13. srpnja 2010. godine

Sadržaj

UVOD.....	1
1. O POJMU KVALITETE ZVUKA	3
1.1. DEFINICIJA POJMA KVALITETE ZVUKA	3
1.2. CILJEVI PROVEDBE OCJENE KVALITETE ZVUKA.....	5
1.3. DIZAJN ŽELJENOG ZVUKA UREĐAJA.....	7
2. OBJEKTIVNI PARAMETRI ZVUČNE SLIKE	13
2.1. PSIHOAKUSTIČKI POJMOVI.....	13
2.1.1. Kritični i ERB pojasevi	13
2.1.2. Maskiranje	17
2.2. OBJEKTIVNI PARAMETRI ZVUČNE SLIKE UREĐAJA PRI RADU U PRAZKOM HODU	21
2.2.1. Glasnoća.....	21
2.2.2. Oštrina	25
2.2.3. Grubost	28
2.2.4. Jačina kolebanja.....	31
2.2.5. Statistički parametri glasnoće.....	33
2.2.6. Parametri spektralne ovojnice	34
2.2.7. Analiza vremenske ovojnice	36
2.2.8. Analiza tonalnog sadržaja zvuka.....	42
2.3. OBJEKTIVNI PARAMETRI ZVUČNE SLIKE UREĐAJA PRI ZAUSTAVLJANJU	58
2.3.1. Ukupna glasnoća pri zaustavljanju	59
2.3.2. Zakrivljenost krivulje glasnoće	63
2.3.3. Odstupanje krivulje glasnoće od linearnosti	65
2.3.4. Kolebanje glasnoće	68
2.3.5. Sumarna statistička analiza spektrograma glasnoće	72
2.3.6. Promjena ostalih parametara u vremenu	78
3. SUBJEKTIVNI PARAMETRI ZVUČNE SLIKE.....	81
3.1. METODE OCJENE SUBJEKTIVNIH PARAMETARA	81
3.2. SUBJEKTIVNI PARAMETRI ODABRANI ZA POTREBE OVOG ISTRAŽIVANJA	86
3.3. UZIMANJE UZORAKA ZVUKA UREĐAJA.....	88
3.3.1. Radne faze uređaja za koje su uzeti uzorci zvuka	88
3.3.2. Specifičnosti pri uzimanju uzoraka zvuka uređaja u radu pod opterećenjem	89
3.3.3. Karakteristike mjernog prostora i sustava za snimanje	90
3.4. POSTUPAK PROVEDBE SUBJEKTIVNIH ISPITIVANJA.....	92
3.4.1. Priprema uzoraka zvuka.....	92
3.4.2. Prostor i oprema za reprodukciju uzoraka zvuka	93
3.4.3. Način odvijanja ispitivanja	94
3.5. SINTEZA UZORAKA ZVUKA UREĐAJA.....	97
4. ANALIZA REZULTATA SUBJEKTIVNIH ISPITIVANJA	103
4.1. UTVRĐIVANJE ISKUSTVA ISPITANIKA	103
4.2. NORMIRANJE OCJENA	104

4.3. REZULTATI ANALIZE KORELACIJE SUBJEKTIVNIH PARAMETARA	106
4.4. REZULTATI ANALIZE VARIJANCE (ANOVA) I TUKEYEVIH TESTOVA	112
4.5. POVEZANOST DOŽIVLJAJA ZVUKA I DOŽIVLJAJA SVOJSTAVA UREĐAJA	117
4.6. REZULTATI SUBJEKTIVNIH ISPITIVANJA - SINTEZA	123
4.6.1. <i>Analiza parametara simulacije</i>	124
4.6.2. <i>Analiza i usporedba vrijednosti objektivnih parametara simuliranih i stvarnih zvukova uređaja</i>	128
5. KORELACIJA OBJEKTIVNIH I SUBJEKTIVNIH PARAMETARA ZVUČNE SLIKE I MODELI OCJENE NEUGODE ZVUKA I SVOJSTAVA UREĐAJA	139
5.1. KORELACIJA OBJEKTIVNIH I SUBJEKTIVNIH PARAMETARA ZVUČNE SLIKE	139
5.1.1. <i>Prazan hod</i>	140
5.1.2. <i>Zaustavljanje</i>	143
5.2. MODELIRANJE SUBJEKTIVNIH OCJENA SVOJSTAVA UREĐAJA NA TEMELJU OBJEKTIVNIH PARAMETARA ZVUČNE SLIKE	145
5.2.1. <i>Predloženi modeli ocjene neugode izazvane zvukom uređaja</i>	149
5.2.2. <i>Predloženi modeli ocjene kvalitete uređaja</i>	155
5.2.3. <i>Predloženi modeli ocjene sigurnosti uređaja</i>	159
5.2.4. <i>Predloženi modeli ocjene ispravnosti uređaja</i>	161
5.2.5. <i>Predloženi modeli ocjene vrijednosti uređaja</i>	162
5.2.6. <i>Predloženi modeli ocjene želje za kupnjom uređaja</i>	164
ZAKLJUČAK	167
DODATAK A	171
POPIS LITERATURE	205
POPIS OZNAKA	211
PRILOZI	217
SAŽETAK	257
SUMMARY	258
KLJUČNE RIJEČI	259
ŽIVOTOPIS	260
BIOGRAPHY	261

Uvod

U modernom svijetu čovjek se svakodnevno susreće s novim zvučnim podražajima sasvim specifičnih svojstava i primoran je upoznavati ih i tako učiti tijekom cijelog svog života. No, moderno doba donijelo je i sasvim novi problem koji predstavlja drugu stranu medalje suvremenog života. Naime, želeći učiniti svakodnevni život lakšim, čovjek je konstruirao veliki broj uređaja, odnosno pomagala raznovrsne namjene. Nažalost, mnogi od ovih uređaja pri svom radu emitiraju zvuk koji je najčešće nepoželjan te samim time predstavlja buku prisutnu u okolini u kojoj čovjek radi i boravi.

U početku je problem zagađenja bukom rješavan isključivo sa stajališta smanjivanja razine buke, no tokom vremena razvijen je drukčiji pristup ovom problemu pri kojem se zvuk koji neki uređaj emitira pri radu ne smatra isključivo neželjenom bukom. Naime, smanjenje razine buke, iako i dalje važan, više nije jedini cilj, već je jednako važno da zvuk određenog uređaja prenese dodatne informacije i time upotpuni ukupnu sliku o tom uređaju. Slijedeći takav pristup, jasno je da zvuk nekog uređaja ne može biti prikladno opisan samo jednim jednobrojnim parametrom kao što je, primjerice, razina zvučnog tlaka ili zvučne snage zvuka koji taj proizvod emitira pri radu, koji se i najčešće deklariraju. Stoga je potrebno sagledati cjelokupnu zvučnu sliku određenog uređaja u kojoj će, osim glasnoće zvuka, biti sadržane i opisane i druge karakteristike zvuka. Analiza zvučne slike provodi se dvojako; objektivnom analizom uzoraka zvuka nekog uređaja dobivaju se vrijednosti objektivnih parametara koji opisuju određene karakteristike zvučne slike. Subjektivnim ispitivanjima pri kojima ispitanici slušaju iste te uzorke zvuka dobivaju se ocjene subjektivnih parametara kojima se također može opisati zvučna slika uređaja, ali i način na koji čovjek doživljava druga svojstva tog uređaja koja nisu vezana samo uz njegov zvuk. Pri tome se prvenstveno misli na dojam kvalitete uređaja koji čovjek stječe slušajući njegov zvuk, ali i drugih svojstava kao što su robusnost, snaga, sigurnost, vrijednost i ispravnost uređaja. Ako se analiza zvučne slike provede za nekoliko različitih uređaja istog tipa ili, pak, za jedan uređaj kojemu se određenim promjenama u njegovoj konstrukciji može utjecati na njegovu zvučnu sliku, tada se temeljem dobivenih rezultata može provesti akustička karakterizacija. Cilj takve karakterizacije je prije svega pronaći elemente zvučne slike koji pozitivno, odnosno negativno utječu ne samo na doživljaj zvuka koji uređaj proizvodi pri radu, već i na doživljaj prije spomenutih svojstava samog uređaja, pri čemu presudnu ulogu imaju ocjene subjektivnih parametara kojima su opisana ta

svojstva dobivene provedbom subjektivnih ispitivanja. Pronađene elemente zvučne slike nužno je opisati prikladno odabranim objektivnim parametrima. Konačno, na temelju odabranih objektivnih parametara i dobivenih subjektivnih ocjena izrađuju se modeli čija vrijednost ne leži samo u definiranju utjecaja pojedinih elemenata zvučne slike na doživljaj zvuka i svojstava uređaja, već i u mogućnosti predviđanja subjektivnih ocjena toga doživljaja, odnosno proširenja primjene modela na uređaje koji nisu bili uključeni u izvorno istraživanje.

Akustička karakterizacija potaknuta je najviše komercijalnim razlozima i stoga se intenzivno provodi na uređajima i proizvodima koji su sveprisutni u životu suvremenog čovjeka. U opisanu se kategoriju prvenstveno ubrajaju automobili i pojedini sustavi ugrađeni u njih te raznovrsna kućanska pomagala.

Istraživanja provedena u sklopu ove disertacije posvećena su akustičkoj karakterizaciji uređaja koji pripadaju specifičnoj kategoriji ručnog električnog alata kao uređaja kod kojih se pažnja prvenstveno posvećuje funkcionalnosti i ergonomiji rukovanja, dok je zvuk tih uređaja uglavnom smatran tek nužnom nuspojavom. Konkretno, analiza zvučne slike i akustička karakterizacija provedena je za tri tipa uređaja iz spomenute kategorije, i to vibracijskih bušilica te ubodnih i ručnih kružnih pila. Izbor baš ove kategorije uređaja uvjetovan je njihovom zastupljenosti u populaciji, koja je znatno porasla u posljednjih petnaestak godina povećanjem raznovrsnosti ponude na tržištu u kojoj svaki krajnji korisnik ima veliku mogućnost izbora prema kriterijima cijene, kvalitete, trajnosti, itd. Dodatno, upravo je svojevrsno zanemarivanje ove kategorije uređaja u smislu istraživanja njihovih akustičkih svojstava predstavljalo poticaj za provedbu akustičke karakterizacije.

Činjenica koju valja naglasiti jest specifičnost pristupa akustičkoj karakterizaciji primijenjenog u ovim istraživanjima. Naime, ovakva se istraživanja redovito provode sa stajališta proizvođača uređaja, pri čemu se za provedbu subjektivnih ispitivanja angažiraju stručni ispitanici, tj. ljudi koji određeni tip uređaja koriste svakodnevno i sâmim time posjeduju veliko iskustvo i znanje vezano uz karakteristike zvuka određenog tipa uređaja. Ovakav je pristup nužan jer se u takvom slučaju radi o dizajnu specifičnog zvuka novog uređaja. U ovim je istraživanjima akustička karakterizacija provedena sa stajališta prosječnog krajnjeg korisnika koji određeni uređaj ne koristi svakodnevno, ali ipak posjeduje određeno iskustvo na temelju kojeg može donijeti sud o povoljnim i nepovoljnim aspektima zvučne slike nekog uređaja te dati ocjenu doživljaja zvuka i svojstava uređaja. Cilj ovih istraživanja jest upravo otkrivanje kriterija kojim se prosječni korisnik vodi pri ocjeni određenog uređaja temeljenom samo na zvuku tog uređaja.

1. O pojmu kvalitete zvuka

Najveći dio informacija o okolini u kojoj se nalazi čovjek prima putem osjetila vida. Međutim, neosporna je činjenica da je informacija koja do čovjeka dolazi putem zvučnih podražaja barem jednako važna jer u velikoj mjeri nadopunjuje vizualnu informaciju, noseći sasvim nove i jedinstvene podatke o okolini koji nisu nužno povezani s dostupnom vizualnom informacijom. Informacija dobivena putem zvuka nedvojbeno će promijeniti ukupnu percepciju objekata i događaja u nekom prostoru, kako na svjesnoj, tako i na podsvjesnoj razini. Upravo ta činjenica predstavlja poticaj za razvitak novog područja znanosti i tehnologije koje se bavi ciljanom manipulacijom i pažljivim i promišljenim dizajnom upravo zvučne informacije radi svjesne i namjerne promjene percepcije najrazličitijih vrsta objekata koji čovjeka svakodnevno okružuju u okolini u kojoj radi i boravi.

Kad se govori o objektima velikih razmjera, posljednjih godina intenzivno se razvija područje koje se bavi dizajnom zvučne informacije, odnosno zvuka radi stvaranja jedinstvenog zvukobraza (engl. *soundscape*) karakterističnog za određeni tip objekta. U objekte velikih razmjera svrstavaju se svi otvoreni i zatvoreni javni prostori u kojima čovjek prebiva, primjerice parkovi, željezničke stanice, gradski trgovi i sl.

U objekte malih razmjera svrstani su prije svega proizvodi i pomagala koja čovjeku olakšavaju svakodnevni život, kao što su, primjerice, automobili u cjelini, ali i pojedini njihovi dijelovi, raznovrsna kućanska pomagala, informatička oprema [1-11] i sl. U posljednjih dvadesetak godina razvija se svijest o tome da zvučna informacija koja dolazi od ovakvih objekata može u znatnoj mjeri utjecati na opću kvalitetu života, ako ni zbog čega drugog, onda zbog učestalosti uporabe spomenutih pomagala, a time i količine zvučne informacije kojoj je čovjek sâmim time izložen. Stoga je razvijeno novo područje znanosti koje se bavi sustavnim proučavanjem načina na koji se može poboljšati kvaliteta zvuka (engl. *sound quality*) koji pri radu emitiraju spomenuti objekti te sâmim time ciljano promijeniti ukupnu percepciju nekog proizvoda.

1.1. Definicija pojma kvalitete zvuka

Pojam kvalitete zvuka danas se susreće u nekoliko međusobno nevezanih ili slabo povezanih područja i kao takav nije jednoznačan bez definiranog konteksta u kojem se

koristi. Primjerice, u području visokovjerne reprodukcije zvuka (engl. *high fidelity*) pojam kvalitete zvuka nezaobilazan je pri ocjeni kvalitete neke komponente u elektroakustičkom lancu namijenjenom snimanju i/ili reprodukciji zvuka. Nadalje, danas se koriste mnogobrojni postupci kodiranja audio informacije s ciljem povećanja količine korisnih podataka koje je moguće pohraniti po jedinici kapaciteta memorije te povećanja protoka korisnih podataka kroz kapacitetom ograničene prijenosne kanale. U tom smislu ocjena kvalitete zvuka koji je prošao kroz određeni koder i odgovarajući dekodeer odražava ocjenu kvalitete samog postupka kodiranja. Pri prijenosu zvuka najrazličitijim prijenosnim kanalima, primjerice, u mobilnoj telefoniji ili pri radiodifuziji, kvaliteta zvuka na prijemnoj strani može sadržavati određene indikacije o stanju prijenosnog kanala kroz koji se prenosi informacija.

U kontekstu kojega se dotiče ova disertacija, pojam kvalitete zvuka odnosi se na kvalitetu zvuka proizvoda (engl. *product sound quality*) i prije svega je vezan uz namjernu promjenu zvučne informacije, odnosno sadržaja zvuka koji određeni proizvod emitira pri radu radi poboljšavanja ukupne percepcije tog proizvoda. U tom smislu ni definicija pojma kvalitete zvuka nije jednoznačna, već različiti autori priznati u ovom području nude različita viđenja ovog pojma. Blauert i Jekosch [12] definiraju kvalitetu zvuka proizvoda kao "deskriptor prikladnosti zvuka pridruženog nekom proizvodu koji je rezultat ocjene ukupnih auditornih karakteristika tog zvuka, s tim da se ocjenjivanje provodi u odnosu na skup željenih osobina tog proizvoda onako kako ih vide korisnici u svom kognitivnom, aktivnom i emocionalnom stanju" (slobodni prijevod). Vrlo sličnu definiciju ovog pojma nude Fog i Pedersen [13]. Lyon [14,15] definira kvalitetu zvuka kao "perceptivnu reakciju na zvuk nekog proizvoda koja odražava reakciju slušatelja na prihvatljivost zvuka tog proizvoda; kvaliteta zvuka je viša ako je zvuk prihvatljiviji" (slobodni prijevod).

Svaki zvuk može se shvatiti kao znak [16] koji označava određeni objekt ili događaj u okolini i, prema tome, ima točno određeno značenje. Značenje određenog broja zvukova upisano je duboko u čovjekov genetski kod kao rezultat tisućljetnog iskustva te izloženosti tim zvukovima, dok se značenje ostalih zvukova uči stjecanjem iskustava pri dolasku u dodir s različitim izvorima zvukova tokom života. Svaki novi zvuk s kojim čovjek dolazi u dodir najprije se uspoređuje sa skupom već poznatih zvukova u pokušaju da se taj zvuk smjesti i ocijeni u već postojećim okvirima. Ukoliko to nije moguće, tek tada se zvuk pohranjuje u postojeći skup kao jedinstven i svojstven određenom tipu zvučnog izvora. Značenje nekog zvuka može se bitno promijeniti stjecanjem novih iskustava te

razumijevanjem prirode, odnosno funkcije zvučnog izvora koji ga proizvodi. Stoga će stečeno iskustvo igrati važnu ulogu pri ocjeni kvalitete nekog zvuka.

Nadalje, emocionalno stanje, trenutno raspoloženje i očekivanja također mogu predstavljati značajan čimbenik pri ocjenjivanju ne samo kvalitete zvuka nekog izvora, već pri bilo kojem postupku ocjenjivanja koji zahtijeva subjektivnu procjenu [17, 18, 19]. Vastfjall [20] to dokazuje provodeći subjektivna ispitivanja s ispitanicima kojima prethodno na suptilan način mijenja ukupno emocionalno stanje, raspoloženje ili očekivanja te se pokazuje da pozitivno emocionalno stanje ispitanika polučuje bolje ocjene pri subjektivnim ispitivanjima, a isti je slučaj i s pozitivnim raspoloženjem. S druge strane, ispitanici s visokim početnim očekivanjima skloniji su davanju negativnijih ocjena od onih s niskim očekivanjima. Iz ovog primjera može se zaključiti da će subjektivna ocjena kvalitete zvuka, osim o iskustvu, ovisiti i o drugim čimbenicima koji su, baš kao i iskustvo, vrlo individualni te je iz tog razloga teško predvidjeti njihov utjecaj na rezultate ispitivanja.

Zaključak koji se nameće je da kvaliteta zvuka nekog zvučnog izvora sama po sebi i nije svojstvo tog izvora, već ocjenu iste formiraju slušači, bilo da se radi o krajnjim korisnicima ili ispitanicima u laboratoriju, na temelju vlastitog suda o tome kakav bi taj zvuk trebao biti. Ocjena kvalitete zvuka bit će viša što je zvuk kao takav bliži onome koji je, po mišljenju slušača, reprezentativan za određeni zvučni izvor ili određeni tip zvučnog izvora, ali će se razlikovati od slušača do slušača zbog utjecaja individualnih čimbenika kao što su iskustvo, emocionalno stanje, raspoloženje ili očekivanja.

1.2. Ciljevi provedbe ocjene kvalitete zvuka

Klasičan pristup oblikovanju zvuka uređaja koji zagovara samo smanjivanje razine zvuka koju taj uređaj emitira je nužan, ali ne i dovoljan, promatrano sa stajališta kvalitete zvuka. Štoviše, takav pristup u većini slučajeva nije ni dobrodošao jer se karakter zvuka određenog izvora izmijenjen na temelju takvog pristupa vrlo često ne slaže s prijašnjim iskustvom i očekivanjima korisnika vezanim uz zvuk tog izvora.

Kao što je već rečeno, zvuk nekog uređaja mora nositi konkretnu informaciju o tom uređaju i uz to ostaviti određen željeni dojam na krajnjeg korisnika u kombinaciji s drugim čimbenicima kao što su robusnost i estetika izrade te ergonomija i funkcionalnost uređaja. Karakteristike informacije koju nosi zvuk nekog uređaja mogu se podijeliti na slušne i neslušne. Slušne su karakteristike izravno vezane uz karakter zvuka, primjerice, glasnoću

zvuka, oštrinu, grubost i sl., dok su neslušne prije svega vezane uz dojmove koje zvuk uređaja ostavlja o samom uređaju, primjerice, dojma kvalitete, robusnosti izrade, sigurnosti, itd. Slušne karakteristike zvuka moguće je opisati i kvantizirati fizičkim i psihoakustičkim objektivnim parametrima te na temelju njihovih vrijednosti izmijeniti karakter zvuka. S druge strane, neslušne je karakteristike zvuka moguće tek naznačiti jer ukupni dojam koji zvuk nekog uređaja ostavlja na korisnika ne ovisi samo o zvuku kao takvom, već i o drugim već spomenutim čimbenicima, kao što su iskustvo, raspoloženje i sl. Osim ostavljanja povoljnog dojma na krajnjeg korisnika, zvuku uređaja mora sadržavati i informaciju o stanju uređaja te njegovoj funkciji, odnosno namjeni. Valja spomenuti i činjenicu da je ocjena kvalitete zvuka vrlo specifična za određeni tip uređaja, pa čak i za različite primjerke uređaja istog tipa. Ova činjenica svoje uporište nalazi u značenju i karakteristikama koje svaki pojedini zvuk ima i koje je specifično za uređaje istog tipa. Dakle, pri intervencijama u zvuk nekog proizvoda nužno je zadržati značenje zvuka kojim se definira pripadnost nekog uređaja određenom tipu. No, za potpuni uspjeh u rješavanju ovog problema nužno je zvuku dati takav karakter koji će omogućiti uspješnu distinkciju nekog proizvoda od ostalih proizvoda iste vrste.

Kad govorimo o neugodi koju određeni zvuk izaziva, valja reći da je dojam, odnosno osjećaj neugode usko povezan s kontekstom u kojem se sluša, odnosno trenutnom situacijom u kojoj se slušač nalazi. Primjerice, korisnik nekog proizvoda, poznavajući svojstva tog proizvoda te njegovu funkciju i namjenu neće doživjeti zvuk koji taj proizvod proizvodi pri radu toliko neugodnim kao promatrač kojem nisu dostupne spomenute informacije ili nema prije stečenog iskustva. S obzirom da je u ovom konkretnom području ipak najvažniji krajnji korisnik, treba reći da neugoda kao nepoželjni aspekt zvuka nije od primarne važnosti za krajnjeg korisnika jer on donosi svoj sud na temelju ukupnih karakteristika proizvoda, posvećujući pažnju prije svega funkcionalnosti proizvoda, pa zatim estetici i sl. Imajući u vidu ukupni dojam koji na njega ostavlja određeni proizvod te poznavajući njegovu funkciju i namjenu, korisnik će biti voljan prihvatiti neugodu koju izaziva zvuk tog proizvoda kao neizbježnu popratnu pojavu.

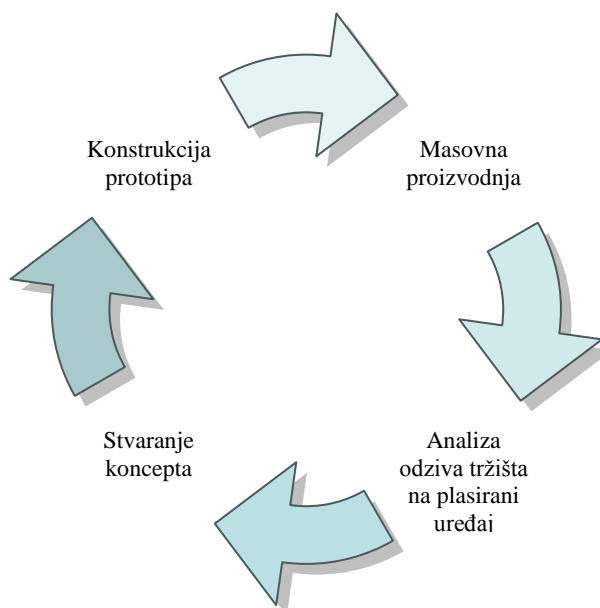
Kad govorimo o kvaliteti i ostalim svojstvima uređaja, nužno je razlikovati objektivnu i subjektivnu ocjenu tih svojstava. Praćenje svojstava nekog proizvoda tijekom njegova radnog vijeka ili, pak, ocjena svojstava pojedinog primjerka iz serije istovjetnih proizvoda može se provesti objektivno. U tom se slučaju provodi dugotrajno i kontinuirano praćenje promjena fizičkih i psihoakustičkih parametara kojima se može opisati zvuk tog proizvoda ili se vrijednosti tih parametara dobivene na ispitnom uzorku uspoređuju s referentnim

skupom vrijednosti dobivenim na uzorku sastavljenom od uređaja dokazanih i provjerenih svojstava. U oba se slučaja takvi parametri mogu vrlo jednostavno dobiti mjerenjem, odnosno snimanjem i analizom zvuka te na temelju toga izvesti zaključak o ukupnom stanju proizvoda. Pri subjektivnom ocjenjivanju svojstava uređaja svaki korisnik/slušatelj donosi konačnu ocjenu svojstava uređaja usporedbom uzorka zvuka koji upravo sluša s vlastitim referentnim skupom vrijednosti, odnosno vlastitom slikom o tome kakav bi taj zvuk trebao biti, stvorenom na temelju iskustva, kako je već rečeno. Upravo zato svaki će ispitanik donijeti drugačiji sud o svojstvima uređaja kojeg ocjenjuje. Problem kojega se ovdje treba dotaknuti jest i način izbora slušača koji će sudjelovati u subjektivnim ispitivanjima. U fazi dizajna prototipa nekog uređaja, a time i njegovog zvuka logično je angažirati stručne slušače, kojima veliko iskustvo u radu s određenim tipom uređaja omogućuje uočavanje finih nijansi zvuka takvog uređaja. No, ispitivanja provedena sa stručnim slušačima neće uvijek dati željene rezultate zbog pretjerane analitičnosti s kojom takvi ispitanici u pojedinim slučajevima pristupaju ocjeni svojstava uređaja. Konačno, proizvedeni uređaji namijenjeni su prosječnim korisnicima, pa je nužno obraditi opisani problem s njihovog stajališta. Zbog toga su u istraživanjima provedenim za potrebe ove disertacije angažirani prosječni slušači koji na prikladan način predstavljaju cjelokupnu populaciju kojoj je uređaj koji se ispituje i namijenjen.

Kao sažetak dosadašnjih razmatranja, može se zaključiti da je krajnji cilj procesa ispitivanja i ocjene kvalitete zvuka oblikovanje zvuka uređaja tako da on: a) nosi korisne informacije o stanju, funkciji i namjeni uređaja, b) ostavlja povoljan ukupan dojam na korisnika u kombinaciji s ostalim aspektima koji određuju taj uređaj i c) daje jedinstveni identitet uređaju.

1.3. Dizajn željenog zvuka uređaja

U današnje doba, kada većina proizvođača kao sastavne dijelove svojih uređaja koristi sirovine ili poluproizvode istog porijekla, nedvojbeno je da će upravo zvuk biti ono po čemu će se uređaji istog tipa razlikovati od proizvođača do proizvođača. Stoga je pažljiv i promišljen dizajn željenog zvuka uređaja nužan ukoliko se želi ispuniti cilj da se određeni uređaj izdvoji od sličnih uređaja ukupnim dojmom koji ostavlja na krajnjem korisnika.



Slika 1.1. Ciklus dizajna željenog zvuka uređaja

Dijagram prikazan na slici 1.1 može se općenito primijeniti na bilo koji aspekt dizajna nekog uređaja pa se može iskoristiti i za predstavljanje klasičnog oblika ciklusa potrage za željenim zvukom uređaja.

Već u fazi stvaranja koncepta, a prije izrade prototipa, nužno je specificirati kakav bi željeni zvuk uređaja trebao biti. S obzirom na to da danas ne možemo govoriti o intenzivnoj proizvodnji velikog broja potpuno novih i originalnih uređaja, već više o unapređivanju i poboljšavanju konstrukcije postojećih, specificaciju željenog zvuka najlakše je provesti usporedbom i analizom zvukova koje emitiraju već konstruirani uređaji istog tipa, bilo da se radi o starijim modelima istog proizvođača ili o modelima drugih proizvođača. Osim izravnom usporedbom, moguće je već u ovoj fazi načiniti i simulaciju zvuka koji će proizvoditi prototip koji tek treba konstruirati. Da bi izrada ovakve simulacije bila moguća, nužno je poznavati karakteristike svakog pojedinog potencijalnog izvora zvuka koji će biti ugrađen u budući uređaj. Za uspješno stvaranje željenog zvuka uređaja potrebno je odrediti način na koji pojedine komponente u ukupnom zvuku, generirane od pojedinih fizičkih izvora zvuka ugrađenih u uređaj, pridonose ukupnoj kvaliteti zvuka te pokušati ukloniti ili barem smanjiti utjecaj komponenti koje u stvarnosti umanjuju ukupnu kvalitetu zvuka. Stoga je već u ovoj fazi poželjno i potrebno izvršiti inicijalna subjektivna ispitivanja, bilo da se potraga za idealnim zvukom uređaja provodi usporedbom uzoraka zvukova već postojećih uređaja istog tipa ili simulacijom zvuka novog uređaja koji tek treba konstruirati. Pritom krajnji korisnici nisu jedina skupina koja

donosi sud o idealnom zvuku uređaja. Već u ovoj fazi značajnu ulogu imaju stručnjaci koji će, u konačnici, morati naći način kako realizirati željeni zvuk uređaja unošenjem izmjena u njegovu konstrukciju, odnosno dizajn. Njihov je zadatak provesti objektivnu analizu zvuka, pri čemu će se poslužiti objektivnim parametrima kojima se može opisati i kvantizirati zvuk, te, ukoliko je to moguće, povezati te parametre s rezultatima subjektivnih ispitivanja provedenih s ispitanicima. U tom je slučaju moguće u određenoj mjeri predvidjeti rezultate daljnjih subjektivnih ispitivanja te je samim time značajno umanjena potreba za njihovom ponovnom provedbom, čime se ostvaruje znatna ušteda vremena i sredstava u cijelom procesu. Još važnija uloga stručnjaka jest povlačenje određenih apsolutnih granica preko kojih se ne smije prijeći pri dizajnu željenog zvuka. Konkretnije, budući da jedino stručnjaci imaju potpuni uvid u svojstva svih komponenata budućeg uređaja, oni su ti koji donose sud o modifikacijama na uređaju koje će biti moguće izvršiti uz relativno malo truda i troškova, onima koje se ne mogu provesti bez značajnih zahvata u konstrukciju uređaja, a time i značajnih troškova, te onima koje ni fizički nije moguće izvesti bez ozbiljnog ugrožavanja sigurnosnih zahtjeva ili kompromitiranja kvalitetnog i pouzdanog obavljanja zadaće za koju je uređaj namijenjen. Na koncu, čak i upravni kadar neke proizvodne tvrtke može imati utjecaja pri traženju idealnog zvuka za neki uređaj, pri čemu se njihova uloga svodi na ocjenu ukupnog zvuka tog uređaja bez ulaženja u detalje, uspoređujući ga prije svega s već proizvedenim modelima uređaja u čijem se karakteru zvuka odražava prepoznatljivost te tvrtke, ujedno ga pokušavajući uklopiti u dugoročne strategije i smjerove kretanja tvrtke.

Druga faza u ciklusu dizajna željenog zvuka proizvoda je konstrukcija prototipa u koji će u najvećoj mogućoj mjeri biti pretočena saznanja dobivena u prvoj fazi ciklusa upravo opisanim postupkom. Međutim, realno je očekivati da se rezultat konstrukcije prototipa neće u potpunosti poklapati sa smjernicama zadanim u inicijalnoj fazi ciklusa. Stoga se i nakon konstrukcije prototipa pristupa dodatnim subjektivnim ispitivanjima radi ocjene stvarnog uzorka zvuka koji proizvodi prototip uređaja, kao i objektivnoj analizi zvuka prototipa koji se snima i pohranjuje. U ovoj je fazi još uvijek moguće utjecati na željeni zvuk uređaja prije no što se pristupi masovnoj proizvodnji te, po potrebi, konstruirati dodatne prototipove ukoliko su potrebni radikalni zahvati ili izmijeniti postojeći ako se radi o izmjenama manjeg opsega.

Tek nakon finalnog ugađanja i dotjerivanja, kako mehaničke konstrukcije, tako i zvuka uređaja, pristupa se masovnoj proizvodnji s ciljem plasiranja na tržište. Međutim, saznanja dobivena u prve dvije faze ciklusa dizajna zvuka još uvijek ne jamče da će uređaj ostvariti

uspjeh na tržištu. Gledano sa stajališta dizajna zvuka, uspjeh uređaja na tržištu ovisit će i o reprezentativnosti grupe ispitanika odabranih za sudjelovanje u subjektivnim ispitivanjima. Drugim riječima, moguće je da će masovna populacija drukčije reagirati i ocijeniti neki proizvod nego što je to učinila ispitna grupa ispitanika. Stoga je potrebno oslušivati reakcije tržišta te pomno razmotriti sve moguće primjedbe, kritike i zapažanja dobivene od strane krajnjih korisnika koji su kupili uređaj i aktivno ga upotrebljavaju. Na taj način se odziv dobiven izravno od ciljane populacije može iskoristiti za daljnja poboljšanja koncepta slijedećih generacija uređaja.

Kada se govori o željenom zvuku koji neki uređaj treba proizvoditi pri radu, potrebno je naglasiti činjenicu da mnogo tipova uređaja ima nekoliko u njih ugrađenih izvora zvuka, kao i više radnih faza u svom radnom ciklusu, a svaka od njih najčešće ima sasvim specifičan karakter zvuka. Stoga je nužno na neki način podijeliti zvukove koje određeni tip uređaja proizvodi, bilo u aktivnom radu ili pasivno. Fog i Pedersen [13, 21, 22] načinili su spomenutu podjelu razvrstavši zvukove uređaja u četiri glavne grupe. U prvoj grupi su zvukovi koje nazivamo pasivnima, što znači da ih proizvod ne stvara u aktivnom radu, već su oni posljedica određene vrste vanjske pobude. Druga grupa zvukova sadrži zvukove koji nastaju pri radu uređaja u pojedinim radnim fazama. Budući da uređaj u određenoj radnoj fazi najčešće radi neko dulje vrijeme, i zvuk koji pritom proizvodi jest dugotrajan i, uvjetno rečeno, stacionaran. Takav zvuk prvenstveno sadrži nedvosmisleni informaciju o sâmoj radnoj fazi u kojoj se uređaj trenutno nalazi te informaciju o ispravnosti rada uređaja u toj radnoj fazi. U treću grupu zvukova smješteni su zvukovi koje proizvod emitira pri prelasku iz jedne radne faze u drugu. Takvi zvukovi ne smatraju se stacionarnima, već im mogu biti pridružene karakteristike prijelaznih pojava, što je sasvim u skladu s načinom njihova generiranja. Karakteristični su za proizvode čiji se radni ciklus sastoji od nekoliko radnih faza koje se sekvencijalno nižu. Zbog njihove kratkotrajnosti ne posvećuje im se mnogo pažnje, a informacija koju sadrže može poslužiti za indikaciju proteklog vremena u nekom definiranom radnom ciklusu, odnosno vremena potrebnog da radni ciklus dođe do svoga kraja. Konačno, u četvrtu grupu zvukova svrstavaju se tzv. signalni zvukovi koji se namjerno i namjenski umeću na određena mjesta u radnom ciklusu uređaja ili kao indikacija kvara.

Za uspješnu provedbu dizajna željenog zvuka određenog uređaja nužno je identificirati sve potencijalne izvore zvuka u tom uređaju, poželjno i prije konstrukcije prototipa, te istražiti načine na koji oni međusobno djeluju [15]. Nadalje, potrebno je poznavati svojstva materijala koji će biti ugrađeni u uređaj radi mogućnosti učinkovite modifikacije zvuka

koji proizvode izvori zvuka ugrađeni u uređaj. Isto tako, poznavanje svojstava izvora zvuka u uređaju i ugrađenih materijala omogućava relativno točno predviđanje karaktera ukupnog zvuka uređaja i prije pokretanja proizvodnje. Međutim, postizanje željenog zvuka neće uvijek biti moguće samo odabirom ugrađenih materijala, već će biti potrebno izvršiti radikalne zahvate u konstrukciji samog uređaja. U svakom slučaju, nužno je odvagati moguće beneficije dobivene izmjenom karaktera zvuka u odnosu na moguće posljedice ovakvih zahvata, kako financijske, tako i sigurnosne i druge.

2. Objektivni parametri zvučne slike

2.1. Psihoakustički pojmovi

U ovom su odjeljku ukratko opisani psihoakustički pojmovi vezani uz frekvencijsku selektivnost ljudskog slušnog sustava te pojavu maskiranja. Pokazane su transformacije iz frekvencijske domene u domenu kritičnih pojaseva, odnosno ERB pojaseva te su navedeni izrazi kojima se opisuje utjecaj simultanog maskiranja.

2.1.1. Kritični i ERB pojasevi

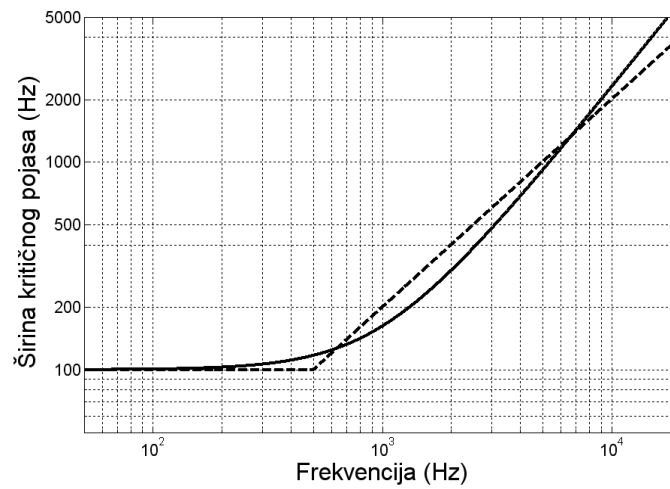
Frekvencijska ljestvica, kako linearna, tako i logaritamska, nije pogodna za opisivanje fenomena koji se događaju u unutarnjem uhu jer se ne može dovesti u linearni odnos niti s duljinom pužnice, niti s ostalim parametrima koji proizlaze izravno iz frekvencijsko-prostorne transformacije koja se u njoj događa. Zbog toga je nužno transformirati frekvencijsku ljestvicu u Bark ljestvicu kritičnih pojaseva z koja će biti u linearnom odnosu s tim veličinama. To je moguće ostvariti uz pretpostavku da uho pri procesiranju zvuka grubo filtrira dolazni signal koristeći niz filtara. Iako se u stvarnosti kritični pojas može formirati oko bilo koje frekvencije, uzima se da su središnje frekvencije kritičnih pojaseva stalne. Uz poznate vrijednosti širine kritičnih pojaseva u ovisnosti o frekvenciji, cijelo frekvencijsko područje do frekvencije 16 kHz pokriveno je s 24 kritična pojasa.

Širinu kritičnih pojaseva eksperimentalno su odredili Zwicker i Fastl primjenom nekoliko različitih metoda [23], pri čemu sve upotrijebljene metode daju međusobno vrlo slične rezultate na temelju kojih je izveden analitički izraz 2.1 za određivanje širine kritičnog pojasa oko bilo koje središnje frekvencije.

$$\Delta f_G = 25 + 75 \left[1 + 1,4 \left(\frac{f}{1000} \right)^2 \right]^{0,69} \quad (2.1)$$

Vrijednosti širine kritičnog pojasa u ovisnosti o frekvenciji dobivene analitički prikazane su na slici 2.1. Osim vrijednosti dobivenih analitički, prikazana je i aproksimacija ovih vrijednosti koja pretpostavlja stalnu širinu kritičnog pojasa na frekvencijama nižim od

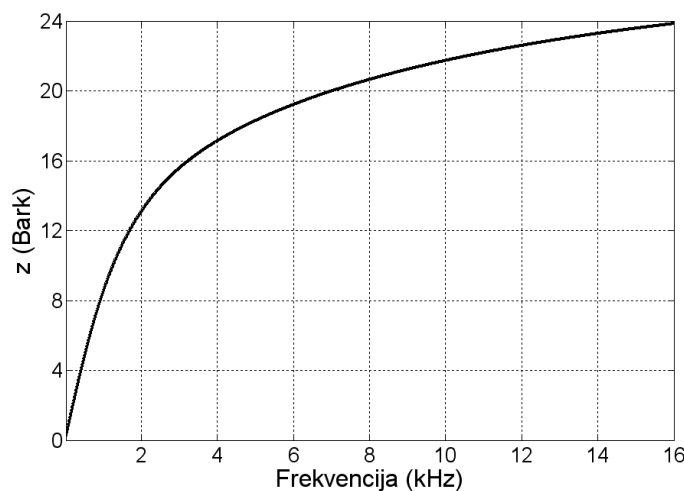
500 Hz, dok je na frekvencijama višim od navedene širina kritičnog pojasa približno jednaka $0,2 * f$.



Slika 2.1. Širina kritičnog pojasa u ovisnosti o frekvenciji, analitički (puna crta) i aproksimirano (isprekidana)

Uzevši u obzir ovisnost širine kritičnog pojasa o frekvenciji, moguće je provesti transformaciju frekvencijske ljestvice u ljestvicu kritičnih pojaseva, opisanu analitičkim izrazom 2.2 i prikazanu grafički na slici 2.2.

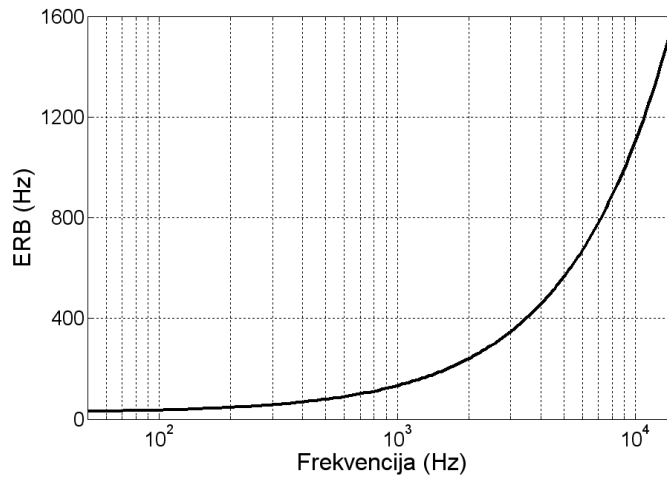
$$z = 13 \arctan\left(\frac{0,76f}{1000}\right) + 3,5 \arctan\left(\frac{f}{7500}\right)^2 \quad [\text{Bark}] \quad (2.2)$$



Slika 2.2. Transformacija iz frekvencijske ljestvice u ljestvicu kritičnih pojaseva

Moore i Glasberg [24] primijenili su vlastitu metodu određivanja širine pojasa filtra u ljudskom slušnom sustavu koja se od onih koje primjenjuju Zwicker i Fastl razlikuje prvenstveno u izboru ispitnih signala. Na temelju rezultata njihovih ispitivanja utvrđene su širine pojasa filtra ljudskog slušnog sustava iskazane kao širina ekvivalentnog pravokutnog pojasa (engl. *Equivalent Rectangular Bandwidth*), odnosno *ERB*, čija se ovisnost o središnjoj frekvenciji filtra može iskazati relacijom 2.3 i grafički je prikazana na slici 2.3.

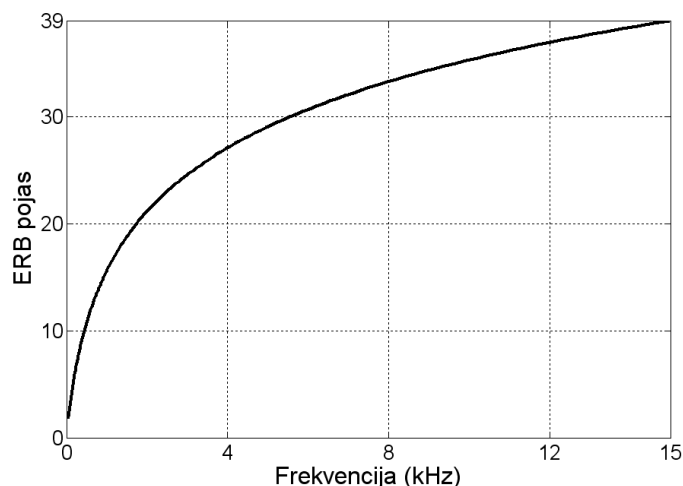
$$ERB = 24,7 * \left(4,37 \frac{f}{1000} + 1 \right) \text{ [Hz]} \quad (2.3)$$



Slika 2.3. Ovisnost širine ekvivalentnog pravokutnog pojasa o središnjoj frekvenciji

Usporedbom grafova na slikama 2.3 i 2.1 vidljivo je da je širina pojasa ERB filtra određena na ovakav način manja od širine kritičnih pojaseva pa je za pokrivanje čujnog frekvencijskog područja ljudskog sluha potrebno 39 ERB pojaseva, u odnosu na 24 kritična pojasa. Na temelju dobivene ovisnosti širine ERB pojaseva o frekvenciji moguće je načiniti transformaciju iz frekvencijske ljestvice u ljestvicu ERB pojaseva, opisanu izrazom 2.4 i prikazanu grafički na slici 2.4.

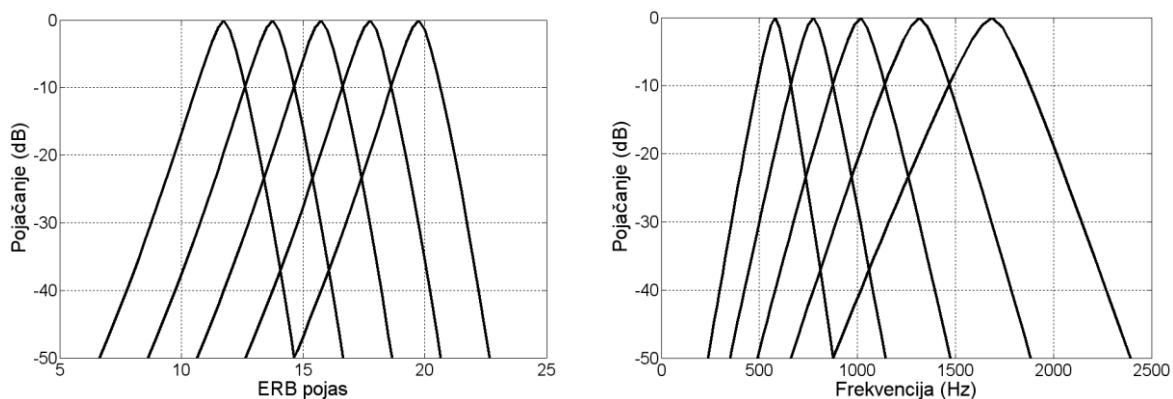
$$ERB \text{ pojas} = 21,4 \log \left(4,37 \frac{f}{1000} + 1 \right) \quad (2.4)$$



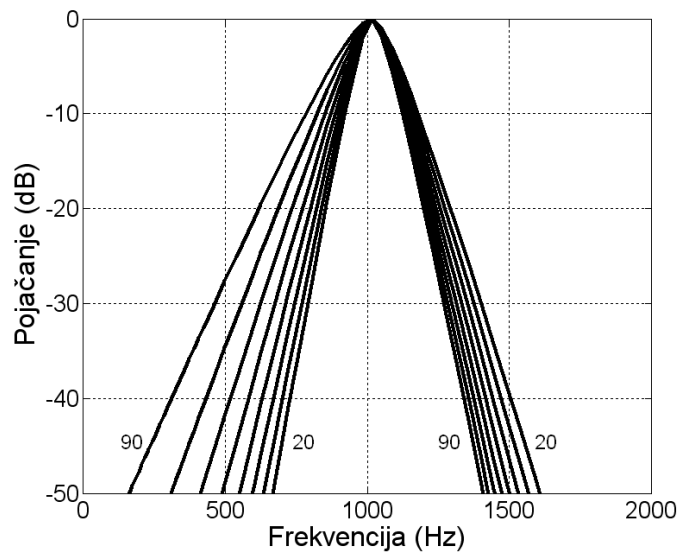
Slika 2.4. Transformacija iz frekvencijske ljestvice u ljestvicu ERB pojaseva

Usporedbom grafova na slikama 2.4 i 2.2 vidi se da su oblici transformacije iz frekvencijske ljestvice u ljestvicu kritičnih pojaseva, odnosno ERB pojaseva gotovo identični.

Moore i Glasberg [24-28] definiraju promjenu oblika filtera koji čine filteraški niz u ovisnosti o središnjoj frekvenciji i razini pobude u određenom ERB pojasu, pri čemu se mijenja i gornji i donji nagib filtera. Na slici 2.5 prikazana je promjena oblika filtera u ovisnosti o središnjoj frekvenciji uz stalnu razinu pobude, a na slici 2.6 promjena oblika filtera u ovisnosti o razini uz stalnu središnju frekvenciju. Na slici 2.5 vidljivo je da su uz stalnu razinu pobude svi filteri jednake širine i jednakih nagiba ako njihov oblik promatramo u funkciji ERB pojaseva, no i oblik i širina filtera vidljivo se mijenjaju ako ih promatramo u funkciji stvarne frekvencije. Uz stalnu središnju frekvenciju gornji nagib filtera postaje strmiji s povećanjem razine, a donji blaži, kako je pokazano na slici 2.6.



Slika 2.5. Promjena oblika filtera uz stalnu razinu pobude i promjenjivu središnju frekvenciju promatran u funkciji ERB pojaseva (lijevo) i stvarne frekvencije (desno)



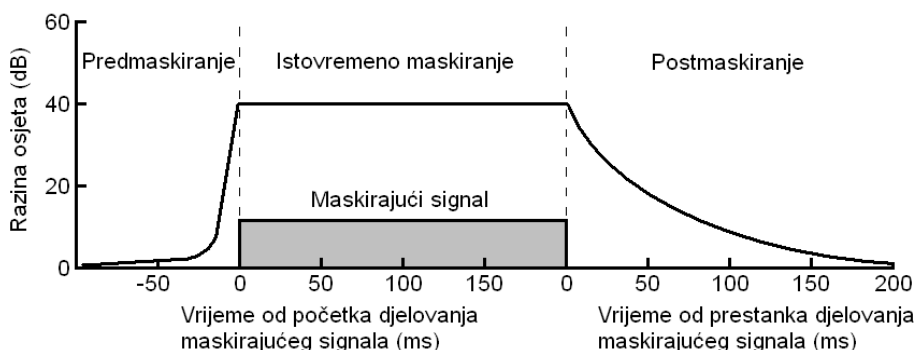
Slika 2.6. Promjena oblika filtera u ovisnosti o razini pobude, uz stalnu središnju frekvenciju

2.1.2. Maskiranje

Pri pojavi maskiranja razlikujemo maskirajući signal, tj. signal koji je odgovoran za maskiranje, i maskirani signal koji je zbog prisutnosti maskirajućeg signala slabije čujan ili, u krajnjem slučaju, potpuno nečujan. Ono što obično treba utvrditi jest razina zvučnog tlaka koju maskirani signal mora imati da bi bio čujan u prisutnosti maskirajućeg signala, što nazivamo i pragom maskiranja za taj maskirani signal. Prag maskiranja obično je veći od praga čujnosti ako su frekvencije maskirajućeg i maskiranog signala relativno bliske. Ako su, pak, frekvencije tih dvaju signala vrlo udaljene, onda je moguće da maskirajući signal uopće neće imati utjecaja na maskirani signal, tj. da će prag čujnosti za maskirani signal ostati isti unatoč postojanju maskirajućeg signala.

Dakle, prag čujnosti za maskirani signal može ostati nepromijenjen u prisutnosti maskirajućeg signala, što znači da maskirajući signal uopće nema utjecaja na maskirani signal. U drugom slučaju prag čujnosti za maskirani signal može biti povišen zbog prisutnosti maskirajućeg signala, ali je maskirani signal još uvijek čujan, što nazivamo djelomičnim maskiranjem. U trećem je slučaju prag čujnosti za maskirani signal veći od njegove razine, što znači da ga maskirajući signal u potpunosti maskira, odnosno, maskirani je signal u tom slučaju nečujan, što se naziva potpunim maskiranjem.

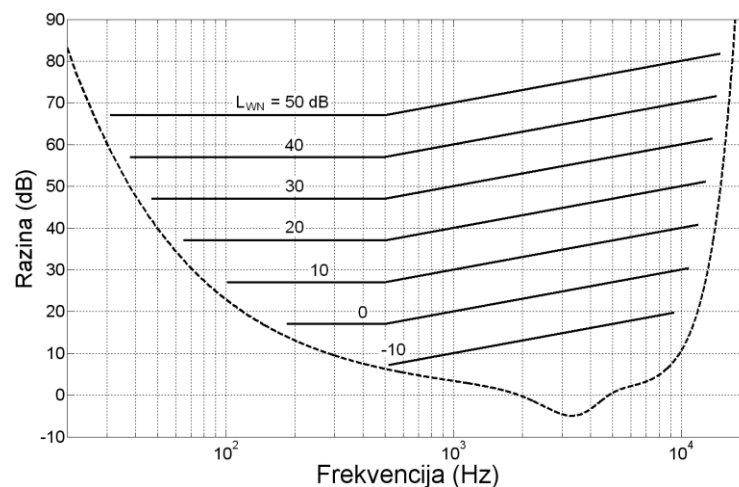
Efekt maskiranja pojavljuje se i onda kada maskirajući i maskirani signal nisu istovremeno prisutni. Na slici 2.7 prikazan je primjer djelovanja kratkotrajnog maskirajućeg signala na maskirani signal koji se sastoji od tona čije je trajanje mnogo manje od trajanja maskirajućeg signala. Kako se vidi iz slike, maskirajući signal ima najveće djelovanje na maskirani signal u vremenskom intervalu u kojem su oba signala stvarno prisutna, što nazivamo simultanim ili istovremenim maskiranjem. No, efekt maskiranja može se pojaviti i u vremenu prije uključenja sâmog maskirajućeg signala te se u tom slučaju govori o tzv. predmaskiranju. Vrijeme u kojem se pojavljuje predmaskiranje vrlo je kratko, kao što se vidi iz slike, a postojanje sâmog efekta objašnjava se činjenicom da nijedan osjet ne može nastati trenutno, već je za njegovo formiranje potrebna određena količina energije i određeno vrijeme potrebno za isporuku te energije. Ako uzmemo u obzir da maskirajući signali u ovom primjeru kao glasnjiji nose veću količinu energije po jedinici vremena od tiših maskiranih signala, onda im za formiranje osjeta treba kraće vrijeme. Stoga potpuno formiranje osjeta glasnijeg signala može završiti prije potpunog formiranja osjeta tišeg signala, čak i ako je glasnjiji signal uključen kasnije, čime se objašnjava postojanje predmaskiranja.



Slika 2.7. Primjer vremenskog maskiranja

S druge strane, efekt maskiranja prisutan je u određenom vremenu nakon uklanjanja maskirajućeg signala i u tom ga slučaju nazivamo postmaskiranjem. Vrijeme u kojem je prisutan efekt postmaskiranja mnogo je dulje od onog u kojem je prisutno predmaskiranje i iznosi oko 200 ms. Postojanje postmaskiranja može se objasniti činjenicom da osjet ne može nestati trenutno, kao što ne može ni nastati trenutno, već je i za to potrebno neko vrijeme nakon što stvarni pobudni signal nestane, slično odjeku u zatvorenim prostorima.

S obzirom na to da se u ovom istraživanju najčešće susreću zvukovi stacionarnog karaktera, zanimljivo je promotriti različite kombinacije istovremeno prisutnih maskirajućih i maskiranih signala. Ako je maskirajući signal bijeli šum, a maskirani signal čisti ton, onda se pragovi maskiranja mogu prikazati u funkciji frekvencije maskiranog tona, uz razinu spektralne gustoće bijelog šuma kao parametar, kako je pokazano na slici 2.8. Vidi se da povećanje razine spektralne gustoće bijelog šuma od 10 dB dovodi do povišenja praga maskiranja za 10 dB, što govori u prilog linearnom ponašanju maskiranja širokopoljnim šumom. Nadalje, pragovi maskiranja su horizontalni do frekvencije od 500 Hz, nakon koje počinju rasti, pri čemu brzina rasta doseže 10 dB/dekadi, odnosno 3 dB/oktavi. To se može dovesti u vezu sa širinom kritičnih pojaseva koja je stalna upravo do frekvencije od 500 Hz, nakon koje raste linearno s frekvencijom. Budući da bijeli šum ima konstantnu spektralnu gustoću neovisnu o frekvenciji, za određenu vrijednost spektralne gustoće energija bijelog šuma, kao i njezina razina, sadržana u kritičnim pojasevima ispod 500 Hz bit će konstantna, a iznad nje će rasti linearno s frekvencijom, dakle, s 10 dB/dekadi, kao i pragovi maskiranja.



Slika 2.8. Pragovi maskiranja za čisti ton uz bijeli šum kao maskirajući signal

Kad govorimo o uskopoljnom šumu kao maskirajućem signalu, u ovom kontekstu zanimljivo je promotriti šum čija je širina pojasa manja ili jednaka širini kritičnog pojasa, odnosno u graničnom slučaju jednaka nuli, dakle kada se radi o čistoj diskretnoj tonskoj komponenti. Za aproksimaciju efekta maskiranja koji takav maskirajući signal ima na susjedne kritične pojaseve i njihov sadržaj, može se reći da je prag maskiranja L_M određen prije svega ukupnom razinom u kritičnom pojasu L_{CB} , bez obzira na njegov sadržaj. Za

frekvencijsko područje koje se nalazi ispod kritičnog pojasa koji promatramo, prag maskiranja može se izraziti kao:

$$L_M = L_{CB} + 27(z - z_{fc}) \quad (2.5)$$

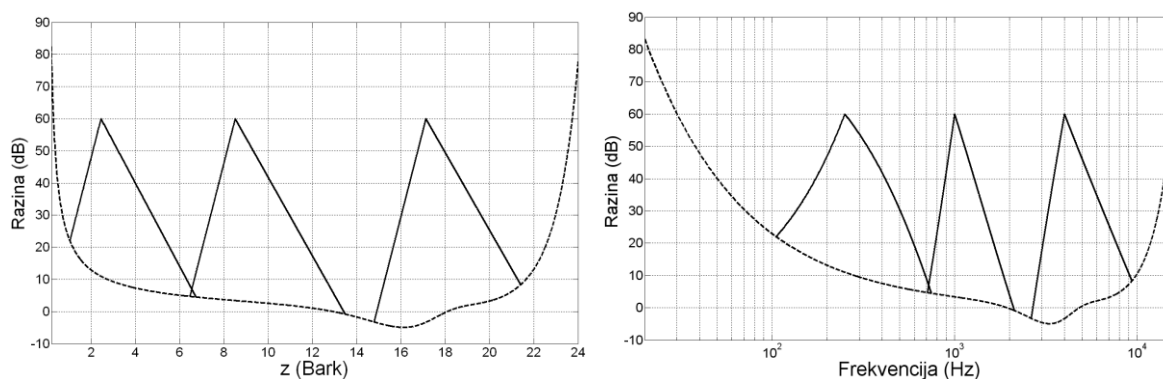
pri čemu je z_{fc} odgovarajući Bark frekvencije f_c diskretne tonske komponente ili središnje frekvencije uskopojasnog šuma, ovisno o vrsti signala. U domeni kritičnih pojaseva radi se, dakle, o odsječku pravca čiji je nagib stalan i iznosi 27 dB/Bark.

U frekvencijskom području koje se nalazi iznad kritičnog pojasa koji promatramo, prag maskiranja može se izračunati pomoću slijedećeg izraza:

$$L_M = L_{CB} - \left(24 + \frac{0,23}{f_c [kHz]} - 0,2L_{CB} \right) (z - z_{fc}) \quad (2.6)$$

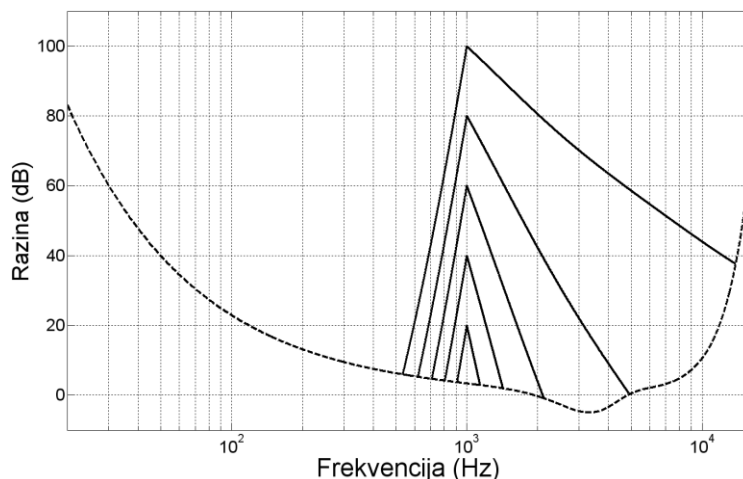
Prag maskiranja je i sada aproksimiran odsječkom pravca, promatrano u domeni kritičnih pojaseva, ali nagib toga pravca ovisi i o frekvenciji i o razini, što ukazuje na nelinearno ponašanje maskiranja. Ovisnost nagiba o frekvenciji postaje relevantna tek na niskim frekvencijama, u području ispod 200 Hz. S druge strane, ovisnost nagiba o razini je znatna jer on za visoke razine signala poprima vrlo male vrijednosti pa se može reći da se s porastom razine signala sve više širi utjecaj maskirajućeg signala na frekvencijsko područje koje se nalazi iznad tog signala.

Primjer ovako procijenjenih pragova maskiranja pokazan je na slikama 2.9 i 2.10.



Slika 2.9. Pragovi maskiranja za uskopojasni šum razine 60 dB i središnje frekvencije 250 Hz, 1 kHz i 4 kHz prikazani u Bark domeni (lijevo) i frekvencijskoj domeni (desno)

Na slici 2.9 vidi se očita prednost rada u domeni kritičnih pojaseva u odnosu na frekvencijsku domenu. Naime, uz stalnu razinu u kritičnom pojasu L_{CB} pragovi maskiranja su svojim oblikom gotovo identični jer ovisnost gornjeg nagiba praga maskiranja o frekvenciji postaje značajnije izražena samo na frekvencijama ispod 200 Hz. Stoga se pragovi maskiranja za bilo koji uskopojasni šum širine jednog kritičnog pojasa ili manje ili, pak, tonski signal mogu naći vrlo jednostavno, translacijom po z -osi.



Slika 2.10. Pragovi maskiranja za uskopojasni šum središnje frekvencije 1 kHz i promjenjive razine

Slika 2.10 pokazuje širenje utjecaja maskirajućeg signala na frekvencijsko područje koje se nalazi iznad njega s porastom njegove razine.

2.2. Objektivni parametri zvučne slike uređaja pri radu u praznom hodu

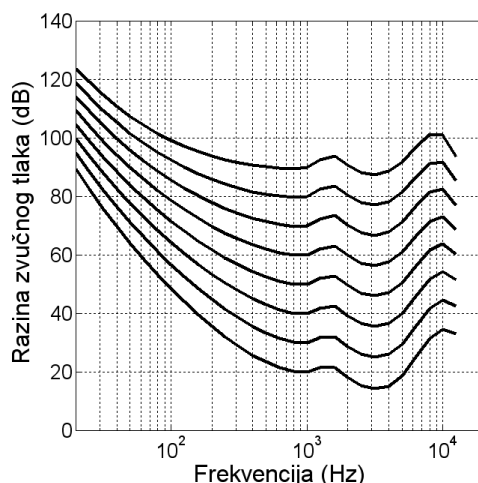
2.2.1. Glasnoća

Glasnoća (engl. *loudness*) je bez sumnje najvažniji, najčešće korišteni i jedini dosad međunarodno normirani objektivni parametar koji se koristi pri opisivanju zvučne slike nekog uređaja i služi za kvantificiranje percepcije količine zvučne energije u uhu, odnosno mozgu.

Počeci istraživanja osjeta glasnoće i njegove kvantifikacije sežu u dvadesete godine dvadesetog stoljeća, kada Barkhausen uvodi pojam razine glasnoće zvuka, koja je definirana kao razina zvučnog tlaka tona frekvencije 1 kHz koji se širi ravnim valom

dolazeći sprijeda i percipiran je kao jednako glasan kao i zvuk koji ispitujemo [23]. Jedinica kojom se izražava razina glasnoće je fon. Sukladno definiciji, razinu glasnoće od n fona ima zvuk koji je subjektivno jednako glasan kao i ton frekvencije 1 kHz i razine zvučnog tlaka od n decibela iznad praga čujnosti.

Polazeći od ovih saznanja, provedena su subjektivna ispitivanja u kojima je ispitivan osjet glasnoće čistih tonova [29-32]. Kao rezultat ovih ispitivanja definirane su krivulje jednake razine glasnoće za čiste tonove, koje su na koncu i normirane na temelju istraživanja Robinsona i Dadsona. Međutim, novija istraživanja [33-45] ukazala su na potrebu za revizijom norme koja je na koncu i provedena [46]. Slika 2.11 prikazuje oblik krivulja jednake razine glasnoće definiran trenutno važećom normom.



Slika 2.11. Krivulje jednake razine glasnoće

Oblik krivulja jednake razine glasnoće jasno ukazuje na činjenicu da ljudsko uho nije jednako osjetljivo na zvučne podražaje različitih frekvencija, kako na pragu čujnosti, tako i pri višim razinama zvučnog tlaka. Konkretno, uho pokazuje najveću osjetljivost u području frekvencija između 2 i 5 kHz. Izvan toga područja osjetljivost uha se smanjuje, pogotovo u području niskih frekvencija. Kao posljedica toga, jasno je da spektralni sadržaj nekog zvuka uvelike utječe na osjet glasnoće.

Međutim, razina glasnoće izražena u fonima ne govori ništa o tome kako čovjek doživljava glasnoću, odnosno promjene glasnoće. Iz tog razloga primijenjen je drukčiji pristup u kojem glavnu ulogu ima sâma glasnoća, izražena na linearnoj ljestvici. Ovakav pristup problemu moguć je uporabom općeg Stevensova zakona koji izražava vezu između magnitude pobude i njezinu percipiranu snagu, odnosno intenzitet. Primijenjeno na ovaj posebni slučaj, može se reći da je relativna promjena glasnoće proporcionalna relativnoj

promjeni jakosti, odnosno intenziteta zvuka [23]. U skladu s prethodno napisanim, uvedena je jedinica za glasnoću son, pri čemu glasnoća od jednog sona odgovara razini glasnoće od 40 fona, a svako povišenje razine glasnoće za 10 fona odgovara udvostručenju glasnoće izražene u sonima. Odnos između razine glasnoće L_N u fonima i glasnoće N u sonima može se prikazati relacijama 2.7 i 2.8.

$$N = 2^{(L_N[fon]-40)/10} \quad (2.7)$$

$$L_N = 10 \log_2 N[son] + 40 \approx \frac{1,2 + \log N[son]}{0,03} \quad (2.8)$$

Međutim, pokazuje se da ovakav odnos glasnoće i razine glasnoće približno vrijedi samo u području razine glasnoće od 40 – 100 fona, dok izvan toga područja postoje odstupanja od Stevnssovog zakona.

Tokom vremena razvijeno je nekoliko metoda, odnosno modela za izračun glasnoće, kako stacionarnih zvučnih signala, tako i vremenski promjenjivih. Daleko najpoznatiji i najčešće korišteni model jest Zwickerov [47], koji kao ulazne parametre koristi vrijednosti zvučnog tlaka u pojasevima širine terce sa središnjim frekvencijama u rasponu od 25 Hz do 12,5 kHz, za razliku od Stevnssovog [47] modela koji kao ulazne vrijednosti uzima razine zvučnog tlaka u pojasevima širine oktave. Uz primjenu aproksimacije širine kritičnog pojasa pokazane na slici 2.1 može se smatrati da terčni pojasevi dobro predstavljaju odgovarajuće kritične pojaseve, s tim da se na niskim frekvencijama terčni pojasevi grupiraju kako bi ukupna širina grupiranih terčnih pojaseva bila približno jednaka širini odgovarajućeg kritičnog pojasa. Vrijednosti razina zvučnog tlaka korigiraju se prema krivuljama jednake razine glasnoće i grupiraju s ciljem dobivanja razina u pojedinim kritičnim pojasevima L_{CB} kao ulaznih parametara u glavni dio modela. Iz razina u kritičnim pojasevima procjenjuje se utjecaj sadržaja svakog kritičnog pojasa na sadržaj ostalih kritičnih pojaseva izračunom praga maskiranja prema izrazima 2.5 i 2.6. Na taj se način dobiva dijagram ukupne razine pobude na kojem se provodi transformacija u specifičnu glasnoću, prema izrazu:

$$N' = 0,08 \left(\frac{E_{TQ}}{E_0} \right)^{0,23} \left[\left(0,5 + \frac{E}{2E_{TQ}} \right)^{0,23} - 1 \right] \quad [\text{son/Bark}] \quad (2.9)$$

gdje je N' specifična glasnoća, E vrijednost pobude, E_{TQ} vrijednost pobude na pragu čujnosti i E_0 referentna vrijednost pobude koja odgovara referentnoj vrijednosti zvučnog intenziteta $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$. Važno je napomenuti da su vrijednosti pobude koje se koriste pri izračunu linearne.

Konačan korak je zbrajanje vrijednosti specifične glasnoće po cijelom frekvencijskom području iskazano izrazom 2.10, što sugerira da se ukupna glasnoća dobiva izračunom ukupne površine ispod krivulje specifične glasnoće.

$$N = \int_0^{24\text{Bark}} N' dz \quad (2.10)$$

Zwickerova grafička metoda izračuna glasnoće [47] razvijena je u doba kada je mogućnost implementacije računalnih modela bila vrlo ograničena. Stoga su kao ulazni parametri odabrane razine zvučnog tlaka u pojasevima širine terce koje se lako mogu izmjeriti zvukomjerom. Nakon opisanih korekcija i grupiranja dobivene se razine u kritičnim pojasevima izravno unose u graf kojim se dobiva krivulja specifične glasnoće. Daljnji razvoj računala omogućio je izradu računalnog modela koji je također normiran [48].

Ne slažući se s Zwickerovim modelom, Moore i Glasberg [49] razvijaju vlastiti model izračuna glasnoće. U prvom koraku izvorni zvuk propušta se kroz filter koji simulira prijenosnu karakteristiku vanjskog i srednjeg uha. Zvučni signal ovako korigiranog spektra dolazi do filtarskog niza koji ga dalje rastavlja na niz frekvencijskih pojaseva. Za razliku od Zwickerovog modela koji koristi jednostavnu aproksimaciju uporabom terčnih filtara, Moore i Glasberg koriste niz ERB filtara čiji oblik ovisi o središnjoj frekvenciji filtra i razini pobude, a njihove širine dobivene su na način opisan u odjeljku 2.1.1. U ovom se koraku provodi transformacija iz frekvencijske ljestvice u ljestvicu ERB pojaseva. Odzivi filtara koji se nalaze u filtarskom nizu koriste se za dobivanje ukupne pobude iz koje se dalje računa specifična glasnoća. Snage svih frekvencijskih komponenata koje se nalaze unutar pojedinog ERB pojasa zbrajaju se te razina tako dobivene ukupne snage predstavlja razinu u tom ERB pojasu, analogno razini u kritičnom pojasu u Zwickerovom modelu. Pobuda koju izaziva sadržaj pojedinog ERB pojasa dobiva se promatranjem odziva svih filtara u filtarskom nizu na taj sadržaj, s tim da je oblik filtara, koji se mijenja s frekvencijom i razinom, određen razinom u dotičnom ERB pojasu te središnjom

frekvencijom pojedinog filtra. Za širokopojasne signale čiji spektralni sadržaj premašuje širinu jednog ERB pojasa ukupna se pobuda može izračunati kao zbroj pobuda u pojedinim ERB pojasevima. Slijedeći stupanj u algoritmu računanja glasnoće jest pretvorba pobude u specifičnu glasnoću definirana izrazima:

$$N' = \begin{cases} C \times \left(\frac{E}{E + E_{TQ}} \right)^{1,5} \left[(GE + A)^\alpha - A^\alpha \right], & E < E_{TQ} \\ C \times \left[(GE + A)^\alpha - A^\alpha \right], & E_{TQ} < E < 10^{10} \\ C \times \left(\frac{E}{1.04 \times 10^6} \right)^{0,5}, & E > 10^{10} \end{cases} \quad (2.11)$$

gdje je N' specifična glasnoća, C kalibracijska konstanta u iznosu od 0,047, E linearna vrijednost pobude u određenom ERB pojasu, E_{TQ} linearna vrijednost pobude na pragu čujnosti u istom pojasu, G frekvencijski ovisno relativno pojačanje u pužnici, A frekvencijski ovisan korektivni parametar te α eksponent u Stevnsomovom zakonu.

Posljednji korak je dobivanje vrijednosti ukupne glasnoće izračunom površine ispod krivulje specifične glasnoće, kao i u Zwickerovom modelu.

Osim za stacionarne zvukove, opisani modeli glasnoće prošireni su za izračun glasnoće vremenski promjenjivih zvukova [50, 51].

2.2.2. Oštrina

Oštrina (engl. *sharpness*) je objektivni parametar koji izražava udio visokih frekvencija u ukupnom spektru nekog zvuka, tako da se za zvukove s većim sadržajem visokih frekvencija kaže da zvuče oštrije. U ovom trenutku oštrina je normirana jedino u Njemačkoj [52].

Jedinica za oštrinu je acum, pri čemu oštrinu od 1 acum ima uskopojasni šum širine jednog kritičnog pojasa sa središnjom frekvencijom od 1 kHz i razinom od 60 dB [23]. Pokazuje se da sinusni ton frekvencije 1 kHz i iste razine ima gotovo identičnu vrijednost oštrine.

Modela za računanje oštrine ima nekoliko, no svi oni temelje se na podacima o specifičnoj glasnoći dobivenim pri računanju ukupne glasnoće nekog zvuka.

Von Bismarck [53] predstavlja izračun oštine uporabom prvog momenta specifične glasnoće i odgovarajuće težinske funkcije koja daje veću težinu spektralnom sadržaju zvuka na visokim frekvencijama u odnosu na niske, prema izrazu 2.12.

$$S = K \cdot \frac{\int_0^{24Bark} N' g'(z) \cdot z \cdot dz}{\int_0^{24Bark} N' dz} = \frac{\int_0^{24Bark} N' g'(z) \cdot z \cdot dz}{N} \quad (2.12)$$

gdje je K konstanta kojom se vrijednost oštine normira za željeni referentni signal, N' je specifična glasnoća, $g'(z)$ je primijenjena težinska funkcija, a N ukupna glasnoća.

Oblik težinske funkcije koja se rabi u von Bismarckovu izračunu oštine dan je izrazom 2.13.

$$g'(z) = \left\{ \begin{array}{ll} 1, & z < 14 \\ 1 + 0,003 \cdot (z - 14)^3, & z \geq 14 \end{array} \right\} \quad (2.13)$$

Auresov [54] model računanja oštine u svojoj biti je izmijenjeni von Bismarckov model i opisan je izrazom 2.14. Vrijednosti oštine dobivene Auresovim modelom bitno su veće od onih dobivenih von Bismarckovim modelom. Primjerice, bijeli šum glasnoće 60 sona ima oštinu od 2,3 acuma izračunatu po von Bismarckovom modelu, ali čak 6,3 acuma po Auresovom modelu.

$$S = K \cdot \frac{\int_0^{24Bark} N' e^{0.171z} dz}{\log\left(\frac{N}{20} + 1\right)} \quad (2.14)$$

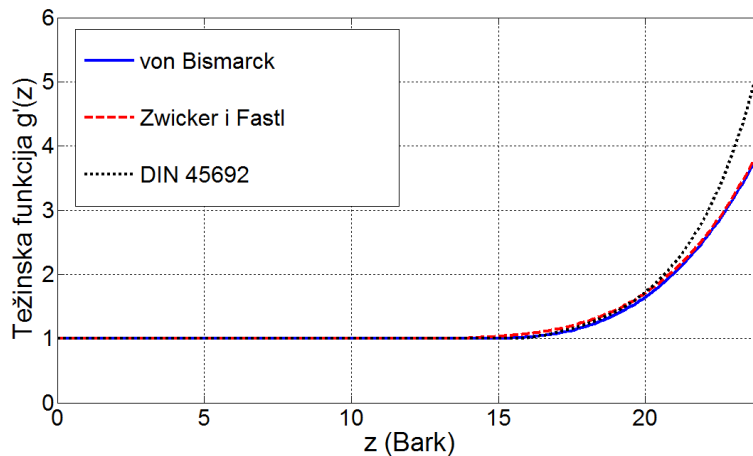
Najpoznatiji i najčešće primjenjivan model za računanje oštine jest onaj Zwickera i Fastla [23], koji u odnosu na originalni von Bismarckov model koristi neznatno izmijenjenu težinsku funkciju definiranu izrazom 2.15.

$$g'(z) = \left\{ \begin{array}{ll} 1, & z < 14 \\ 0,00012z^4 - 0,0056z^3 + 0,1z^2 - 0,81z + 3,51, & z \geq 14 \end{array} \right\} \quad (2.15)$$

Model računanja oštine definiran DIN normom razlikuje se samo oblikom primijenjene težinske funkcije koja ima oblik:

$$g'(z) = \begin{cases} 1 & , z \leq 15,8 \\ 0,15 \cdot e^{0,42(z-15,8)} + 0,85 & , z \geq 15,8 \end{cases} \quad (2.16)$$

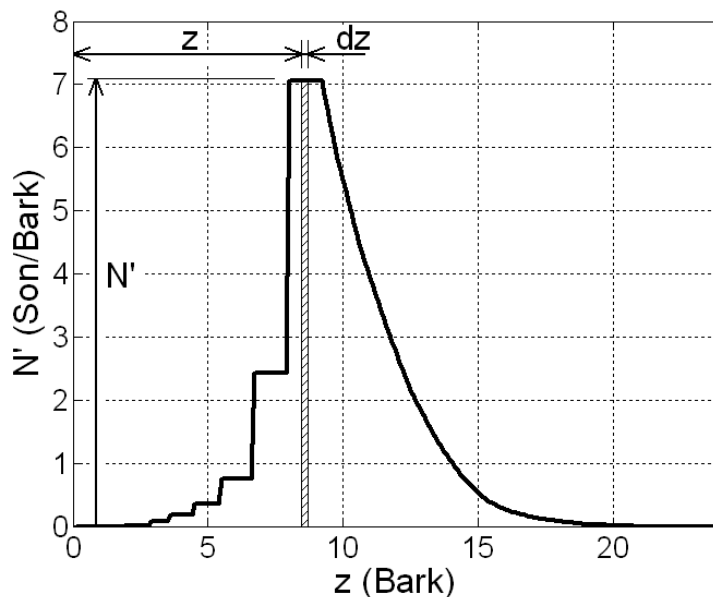
Sve tri težinske funkcije prikazane su radi izravne usporedbe na slici 2.12.



Slika 2.12. Težinske funkcije uporabljene u von Bismarckovom i Zwickerovom modelu oštine te modelu definiranom DIN normom

Iz slike 2.12 vidi se da težinska funkcija definirana DIN normom daje veću težinu spektralnom sadržaju zvuka na visokim frekvencijama od težinskih funkcija koje koriste von Bismarck te Zwicker i Fastl.

Identično kao u von Bismarckovom modelu, Zwicker i Fastl, kao i spomenuta DIN norma, koriste prvi moment specifične glasnoće izračunat za svaku točku frekvencijske ljestvice na način pokazan na slici 2.13 te ponderiran vrijednošću težinske funkcije u toj točki.



Slika 2.13. Izračun prvog momenta specifične glasnoće

Tako izračunati momenti zbrajaju se po cijelom frekvencijskom području te se dobiveni zbroj dijeli s vrijednošću ukupne glasnoće. Na koncu se dobivena vrijednost množi konstantom čija vrijednost u ovom modelu iznosi 0,11 i dobivena je izračunom oštrine za prije spomenuti referentni signal uz zahtjev da njegova oštrina iznosi upravo 1 acum. Konačan oblik ovog modela oštrine prikazan je izrazom 2.17.

$$S = 0,11 \cdot \frac{\int_0^{24\text{Bark}} N' g'(z) \cdot z \cdot dz}{\int_0^{24\text{Bark}} N' dz} \quad (2.17)$$

Budući da je izračun oštrine analogan izračunu centra mase, odnosno centra gravitacije u fizikalnom smislu, može se i oštrina nekog zvuka povezati s položajem 'centra gravitacije' specifične glasnoće na Bark ljestvici. Konkretno, oštrina nekog zvuka bit će to veća što je centar gravitacije specifične glasnoće bliži gornjoj granici Bark ljestvice.

2.2.3. Grubost

Grubost (engl. *roughness*) je objektivni parametar koji ponajprije kvantificira percepciju tzv. brze modulacije prisutne u nekom zvuku, kako amplitudne, tako i frekvencijske. No, treba napomenuti da osjet grubosti zvuka nije ograničen samo na stvarno modulirane

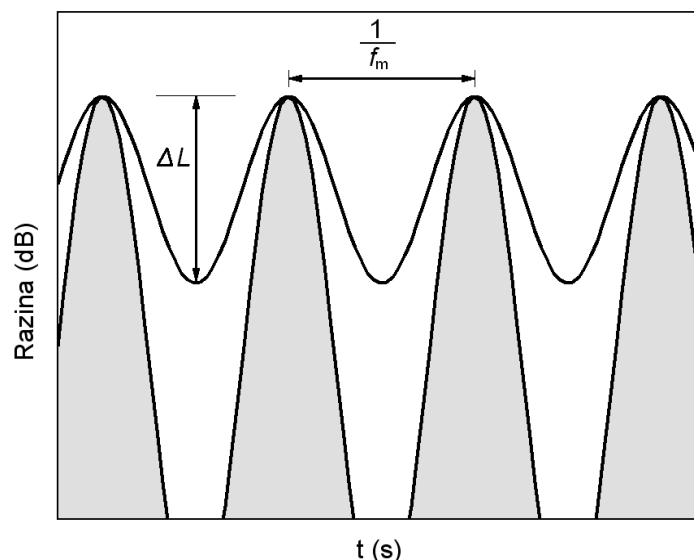
zvučne signale, već može biti prisutan i kod zvukova koji sami za sebe nisu modulirani, ali svojim međudjelovanjem stvaraju učinak brze promjene amplitude ili frekvencije ukupnog signala. Primjerice, nizovi kratkih impulsa, šum, složeni tonovi instrumenata pa čak i ljudski glas mogu uzrokovati osjet grubosti.

Jedinica za grubost je asper, pri čemu grubost od jednog aspera ima ton frekvencije 1 kHz i razine 60 dB koji je 100 % amplitudno moduliran frekvencijom od 70 Hz [23].

Mnogobrojnim istraživanjima utvrđena su neka svojstva vezana uz osjet grubosti: modulacijske frekvencije koje izazivaju osjet grubosti kreću se između 30 i 300 Hz, pri čemu grubost iskazuje pojasnopropusni karakter, što znači da je osjet grubosti najjači pri određenoj vrijednosti modulacijske frekvencije, dok iznad i ispod te vrijednosti slabi. Pri tome treba reći da gore spomenuta gornja granična modulacijska frekvencija vrijedi samo u području frekvencija u kojem su kritični pojasevi širi od 300 Hz, odnosno, za frekvencije nosioca veće od 2 kHz. U tom području vrijednost modulacijske frekvencije pri kojoj je osjet grubosti najjači iznosi 70 Hz. Za frekvencije nosioca niže od spomenute vrijednosti gornja granična frekvencija modulacije određena je širinom kritičnog pojasa [55, 56], a vrijednost modulacijske frekvencije odgovorne za najjači osjet grubosti pada. Utvrđeno je da je i za širokopojasne amplitudno modulirane signale osjet grubosti najjači uz modulacijsku frekvenciju od 70 Hz [57]. Nadalje, pokazuje se da je relativna promjena amplitude odgovorna za osjet grubosti, a kod amplitudne modulacije opisana je upravo indeksom modulacije m_a te uz zadani indeks modulacije osjet grubosti vrlo malo ovisi o razini signala [57]. Štoviše, iznos grubosti proporcionalan je potenciji indeksa modulacije m_a kojoj se eksponent kreće između 1,4 i 2 [57, 58, 59]. Zbrajanje grubosti ovisno o fazi može se promotriti istovremenim reproduciranjem na jedno uho dva AM tona kojima su modulacijske frekvencije jednake, a frekvencije nosilaca razmaknute za nekoliko kritičnih pojaseva. Uz jednake indekse modulacije i modulacije u fazi zbrojena grubost je otprilike dvostruko veća nego grubost uzrokovana svakim od dva AM tona. Kada su modulacije u protufazi, ukupna grubost nije veća od grubosti svakog od AM tonova [60, 61]. Dihotičkim istovremenim reproduciranjem dva AM tona s istim frekvencijama nosilaca i modulacijskim frekvencijama može se promatrati utjecaj faze modulacije, koji raste smanjenjem modulacijske frekvencije [62].

Kao i kod drugih parametara, postoji više modela za izračun grubosti, a svi se oni temelje na procjeni percipirane dubine maskiranja i modulacijske frekvencije. Temelj ovih modela pokazan je na slici 2.14 i počiva na činjenici da uho nije sposobno slijediti brze promjene razine signala kao npr. kod amplitudno moduliranih signala uz modulacijsku frekvenciju

f_m , već percipirana razina padne samo za ΔL , što, drugim riječima, znači da je percipirana dubina maskiranja manja od stvarne dubine modulacije.



Slika 2.14. Uz model grubosti i jačine kolebanja

Dakle, grubost je proporcionalna i modulacijskoj frekvenciji f_{mod} i percipiranoj dubini maskiranja ΔL koja, pak, pada s porastom vrijednosti modulacijske frekvencije.

$$R \sim f_{\text{mod}} \cdot \Delta L \quad (2.18)$$

Prije spomenuti pojasnopropusni karakter grubosti objašnjava se činjenicom da s porastom modulacijske frekvencije raste brzina promjene vremenske ovojnice signala, a uho više nije sposobno slijediti te promjene pa stoga percipirana dubina maskiranja, a time i grubost, pada. Pri niskim modulacijskim frekvencijama, pak, uho mnogo bolje slijedi promjene razine pa je percipirana dubina maskiranja relativno velika, no zbog niske vrijednosti modulacijske frekvencije vrijednost grubosti je mala.

U svim do sada razvijenim modelima osnovni način računanja grubosti nekog zvuka sažet je izrazom 2.19.

$$R = K \cdot \int_0^{24\text{Bark}} f_{\text{mod}} \cdot \Delta L \cdot dz \quad (2.19)$$

Vidljivo je da se ulazni signal filtrira u pojaseve širine 1 Barka ili finije te se utvrđuje vrijednost modulacijske frekvencije i percipirana dubina maskiranja i zatim se rezultati zbrajaju po cijelom frekvencijskom području. Budući da je utvrđivanje modulacijske frekvencije relativno jednostavno, najveći izazov predstavlja utvrđivanje percipirane dubine modulacije. Aures [61] pristupa problemu utvrđivanjem generaliziranih dubina modulacije u svakom pojasu. Widmann i Fastl [63] predlažu izračun grubosti izveden iz vremenski promjenjive specifične glasnoće. Jedan od problema koji se pojavljuju pri izračunu grubosti jest taj da za slučajne signale kao što su bijeli ili ružičasti šum model mora dati male vrijednosti grubosti, što se slaže s rezultatima subjektivnih ispitivanja. Taj problem djelomično je riješen filtriranjem ulaznog signala u potpojaseve. Izračun koeficijenta korelacije između spektralnih ovojnica susjednih pojaseva može se iskoristiti za daljnje poboljšanje modela [64]. Naime, za slučajne signale vrijednosti tih koeficijenta su niske, dok su za signale kod kojih je modulacija u susjednim kanalima u fazi te vrijednosti visoke.

Zwicker i Fastl [23] dolaze do izraza 2.20 za izračun grubosti koristeći vlastitu metodu za ocjenu dubine maskiranja i uzimajući u obzir referentni signal i uvjet za grubost od jednog aspera.

$$R = 0,3 \cdot \frac{f_{\text{mod}}}{1 \text{ kHz}} \cdot \int_0^{24 \text{ Bark}} \frac{20 \log \frac{N'_{\text{max}}}{N'_{\text{min}}} [\text{dB}]}{\left[\frac{\text{dB}}{\text{Bark}} \right]} dz \quad (2.20)$$

2.2.4. Jačina kolebanja

Jačina kolebanja (engl. *fluctuation strength*) je objektivni parametar kojim su kvantificirane promjene amplitude, odnosno razine signala koje se očituju u kolebanju njegove glasnoće, zbog čega se ovaj parametar ponekad naziva i kolebanjem glasnoće (engl. *loudness fluctuation*). Osjet kolebanja glasnoće počiva na djelomično istom fenomenu kao i osjet grubosti jer se, zapravo, radi o percepciji prisutnosti amplitudne modulacije u nekom zvučnom signalu. No, u ovom se slučaju modulacijske frekvencije pri kojima je izražen osjet kolebanja glasnoće kreću u rasponu vrijednosti od 0 do 20 Hz i u tom rasponu uho percipira amplitudnu modulaciju kao promjenu glasnoće. Porastom modulacijske frekvencije iznad 20 Hz osjet grubosti postaje dominantan. Osnovni pristup

kvantificiranju ovog fenomena može se prikazati slikom 2.14. Vidljivo je da je i u ovom slučaju osnovni zadatak što točnije procijeniti vrijednost percipirane dubine maskiranja ΔL , koja ovisi o modulačijskoj frekvenciji f_{mod} te indeksu modulacije m_a i manja je od njime definirane objektivne dubine modulacije. Zwicker i Fastl [23] predlažu odnos između jačine kolebanja, percipirane dubine maskiranja i modulačijske frekvencije pokazan izrazom:

$$F \sim \frac{\Delta L}{\frac{f_{\text{mod}}}{4} + \frac{4}{f_{\text{mod}}}} \quad (2.21)$$

pri čemu je vrijednost modulačijske frekvencije izražena u hercima.

Iako percipirana dubina maskiranja ΔL monotono pada s porastom modulačijske frekvencije, nazivnik izraza 2.21 sugerira da kolebanje glasnoće ima pojasnopropusni karakter kao i grubost, s time da je osjet kolebanja glasnoće najjači, a vrijednosti jačine kolebanja najveće pri modulačijskoj frekvenciji od 4 Hz, što odgovara rezultatima subjektivnih ispitivanja. Sjetimo li se slogova kao sastavnih dijelova govora, u kojima samoglasnik nosi energiju, a suglasnici informaciju, govorni zvučni signal sastavljen od ovakvih dijelova iskazivat će značajne promjene u vremenskoj ovojnici, odnosno promjene u glasnoći. Činjenica da je brzina prosječnog govora upravo oko četiri sloga u sekundi [23] upućuje na to da je ljudski slušni sustav ugođen i prilagođen govoru, odnosno verbalnoj komunikaciji.

Kao i pri izračunu grubosti, i u ovom je slučaju važno utvrditi vrijednost percipirane dubine maskiranja u svakom kritičnom pojasu te zbrojiti dobivene vrijednosti po cijelom frekvencijskom području. Zwicker i Fastl [23] predlažu slijedeći izraz za računanje jačine kolebanja:

$$F = \frac{0,008 \cdot \int_0^{24\text{Bark}} \Delta L \cdot dz}{\frac{f_{\text{mod}}}{4 \text{ Hz}} + \frac{4 \text{ Hz}}{f_{\text{mod}}}} \quad (2.22)$$

Pri tome se percipirana dubina maskiranja u svakom kritičnom pojasu procjenjuje na sličan način kao i pri izračunu grubosti, analizom vremenske promjene specifične glasnoće i utvrđivanjem njezine maksimalne i minimalne vrijednosti, prema izrazu:

$$\Delta L \approx 4 \log \frac{N'_{\max}}{N'_{\min}} \quad (2.23)$$

čime se dobiva konačni izraz za izračun jačine kolebanja:

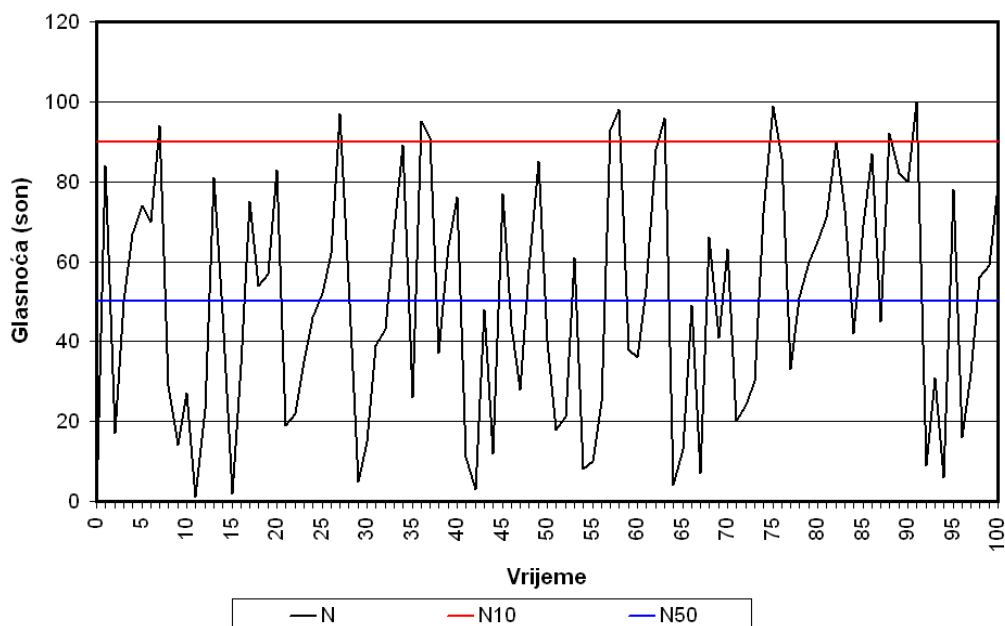
$$F = \frac{0,008 \cdot \int_0^{24\text{Bark}} 4 \log \frac{N'_{\max}(z)}{N'_{\min}(z)} dz}{\frac{f_{\text{mod}}}{4} + \frac{4}{f_{\text{mod}}}} \quad (2.24)$$

Vrijednost modulaijske frekvencije potrebna za izračun utvrđuje se analizom vremenske ovojnice zvučnog signala.

Jedinica za jačinu kolebanja je vacil, pri čemu jačinu kolebanja od 1 vacil ima ton frekvencije 1 kHz i razine 60 dB koji je 100% amplitudno moduliran modulaijskom frekvencijom od 4 Hz.

2.2.5. Statistički parametri glasnoće

Pri analizi vremenski promjenjive glasnoće koriste se statistički parametri oblika N_x , koji kao rezultat daju vrijednost glasnoće koja je premašena u x posto vremena, od kojih su najčešći N_{10} i N_{50} . Osim spomenutih, još se koriste i parametri kao što su statistička srednja trenutna glasnoća te statistička minimalna trenutna glasnoća. Ovi su parametri iskorišteni pri ocjeni kvalitete zvuka, ali i u drugim područjima kao što su analiza buke prometa i sl. Primjer statističke analize vremenski promjenjive glasnoće i parametara N_{10} i N_{50} pokazan je na slici 2.15.

Slika 2.15. Vremenski promjenjiva glasnoća i statistički parametri N_{10} i N_{50}

S obzirom na činjenicu da su statistički parametri glasnoće oblika N_x snažno korelirani s glasnoćom N , pri analizi zvukova koje uređaji emitiraju pri radu u praznom hodu definirani su novi parametri u obliku relativnih omjera $N_{x,50}$ kao razlike statističkih vrijednosti glasnoće N_x , pri čemu je $x=1, 5, 10$ i 25 , i medijana glasnoće N_{50} , normirane na spomenutu vrijednost medijana, prema izrazu:

$$N_{x,50} = \frac{N_x - N_{50}}{N_{50}} \cdot 100 = \left(\frac{N_x}{N_{50}} - 1 \right) \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.25)$$

Ovako definiranim omjerima procjenjuje se relativno kolebanje glasnoće zvuka nekog uređaja pri radu u praznom hodu neovisno o stvarnoj vrijednosti glasnoće.

2.2.6. Parametri spektralne ovojnice

S obzirom na specifičnost oblika spektralne ovojnice zvuka koji uređaji uključeni u istraživanje proizvode pri radu u praznom hodu, definiran je vlastiti pristup analizi spektralne ovojnice kojom se dobivaju informacije o njezinom nagibu u pojedinim dijelovima frekvencijskog područja. Nagib spektralne ovojnice određen je širokopojasnim

šumom koji je posljedica ponajprije strujanja zraka potrebnog za hlađenje uređaja pri radu, a oblikovan je na određen način ovisno o građi, odnosno konstrukciji sâmog uređaja.

Pri implementaciji ovakve analize polazi se od pretpostavke da je opisani šum oblikovan tako da spektralna ovojnica ima jasno izraženo koljeno na određenoj frekvenciji f_n , koju nazivamo prijelomnom frekvencijom. S padom frekvencije ispod frekvencije f_n razine šuma padaju s d_n decibela po oktavi, a s porastom frekvencije iznad spomenute vrijednosti razine šuma padaju s g_n decibela po oktavi. Parametre d_n i g_n nazivamo nagibima spektralne ovojnice ispod i iznad prijelomne frekvencije f_n , odnosno njezinim donjim i gornjim nagibima. Ako usvojimo konvenciju prema kojoj se nagib uvijek izražava u odnosu na rastuću frekvenciju, onda će donji nagib d_n poprimati pozitivne vrijednosti, a gornji nagib g_n negativne.

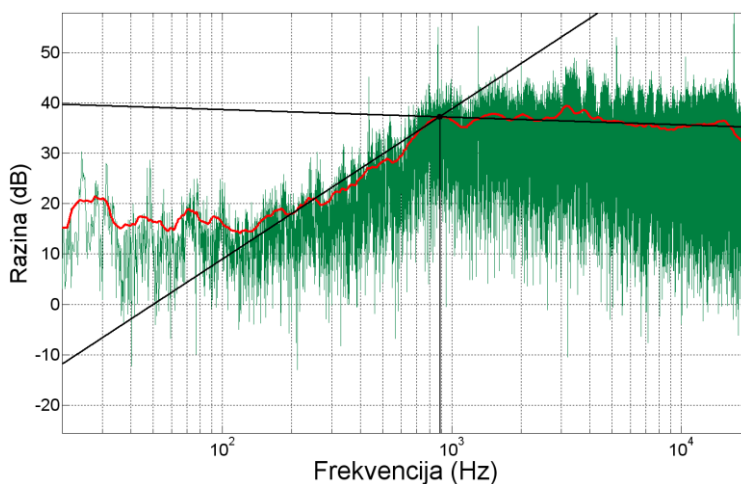
U sâmom postupku analize spektralne ovojnice želja je utvrditi vrijednosti prijelomne frekvencije te gornjeg i donjeg nagiba, pri čemu se zanemaruju fine promjene u spektralnoj ovojnici uzrokovane postojanjem diskretnih tonskih komponenata, čiji će utjecaj biti analiziran kasnije. Da bi to bilo moguće, spektralnu je ovojnici potrebno usrednjiti, što se u postupku analize provodi tzv. klizajućim usrednjavanjem (engl. *moving average*), pri čemu ukupni broj spektralnih linija koji se uzima u obzir pri usrednjavanju ovisi o frekvenciji spektralne linije za koju se usrednjavanje provodi.

Primjer spektra signala i njegove ovojnice usrednjene na gore opisan način pokazan je na slici 2.16. Vidljivo je da opisani postupak usrednjavanja kao rezultat daje samo grubi trend ponašanja spektralne ovojnice, uklanjajući iz nje većinu nepravilnosti uzrokovanih postojanjem tonskih ili uskopojasnih komponenata u spektru, što je i bio cilj. Nadalje, na slici je naznačena prijelomna frekvencija, kao i pravci kojima se aproksimira ponašanje spektralne ovojnice u dijelovima frekvencijskog područja iznad, odnosno ispod prijelomne frekvencije, iz kojih se mogu iščitati željeni nagibi.

Oblik spektra, odnosno njegove ovojnice pokazan na slici 2.16 karakterističan je za sve tri ispitivane grupe uređaja i izravna je posljedica njihove veličine i konstrukcije. Vidljivo je i to da je frekvencijsko područje moguće razdijeliti na tri karakteristična dijela i definirati još jednu prijelomnu frekvenciju, koja se za ispitivane uređaje bez iznimke nalazi u području frekvencija od 100 – 150 Hz. Međutim, spomenuti postupak nije potrebno provoditi iz dva razloga: prvi razlog je taj što su uzorci zvuka uređaja snimani u realnom prostoru sličnom tipičnom prostoru u kojem se uređaji inače koriste, a ne u gluhoj komori, o čemu će kasnije biti više riječi. Stoga nije sasvim jasno je li spektralni sadržaj u području frekvencija ispod spomenutih stotinjak herca posljedica rada uređaja ili se radi o

pozadinskoj buci u prostoru. Drugi razlog jest taj da je spomenuti spektralni sadržaj praktički nečujan, a time i nevažan, uzevši u obzir njegovu razinu koja je značajno niža nego u preostalom dijelu spektra, kao i činjenicu da se taj sadržaj nalazi upravo u području frekvencija u kojem je ljudsko uho najmanje osjetljivo.

Iz upravo pojašnjenih razloga, analiza spektralne ovojnice provedena je na prije opisan način pokazan na slici 2.16.

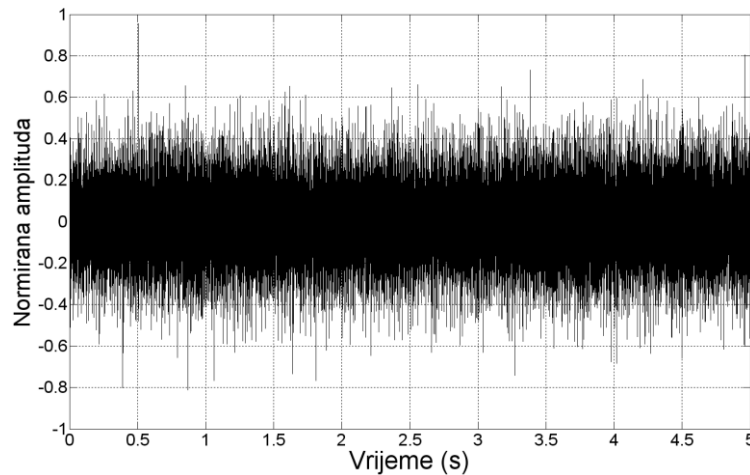


Slika 2.16. Primjer spektralne ovojnice signala

2.2.7. Analiza vremenske ovojnice

Analizom vremenske ovojnice zvuka nekog uređaja pri radu u praznom hodu moguće je dobiti podatke o načinu promjene amplitude tog zvučnog signala u vremenu, premda se za sâm signal pretpostavlja da je on stacionarnog karaktera u vremenskom odsječku u kojem ga promatramo. Ovakva se analiza, zapravo, odnosi na otkrivanje amplitudne modulacije u zvučnom signalu i utvrđivanje njezinog stupnja, odnosno jačine. Za provedbu ove analize primijenjen je vlastiti pristup definiran na temelju ranijih istraživanja [65], sadržan u MATLAB funkciji *vremovojnica* pokazanoj u prilogu 1. Tijek analize te oblik i način dobivanja novodefiniranih parametara detaljno je opisan u nastavku.

Na slici 2.17 pokazan je primjer valnog oblika zvučnog signala jedne od ubodnih pila snimljenog pri radu u praznom hodu. Iz slike je vidljivo da u signalu postoje promjene njegove amplitude u ovisnosti o vremenu iako ga smatramo stacionarnim. No, valni oblik tog signala sâm po sebi nije ni prikladan ni dovoljan za utvrđivanje i vrednovanje tih promjena te je stoga nužno na njemu načiniti transformacije opisane u nastavku.



Slika 2.17. Primjer valnog oblika zvučnog signala snimljenog pri radu u praznom hodu

Da bi uopće bilo moguće analizirati promjene amplitude signala u vremenu i utvrditi postojanje eventualne amplitudne modulacije, potrebno je promotriti vremensku ovojnicu izvornog zvučnog signala. Ako pretpostavimo da je zvučni signal zapravo val nosilac koji je, doduše, širokopoljasnog karaktera, a ne sinusoidan, onda su u njegovoj vremenskoj ovojnici sadržani podaci o modulacijskom signalu koji modulira taj val nosilac, tj. podaci o načinu promjene njegove amplitude u vremenu.

Prvi korak pri dobivanju vremenske ovojnice izvornog signala $x(t)$ jest izračun analitičkog signala $\tilde{x}(t)$ prema izrazu:

$$\tilde{x}(t) = x(t) + i\mathcal{H}[x(t)] \quad (2.26)$$

Za razliku od izvornog signala koji je realan, analitički signal je kompleksan, pri čemu njegov imaginarni član predstavlja Hilbertovu transformaciju izvornog signala koja se definira izrazom:

$$\mathcal{H}[x(t)] = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x(\tau)}{t - \tau} d\tau \quad (2.27)$$

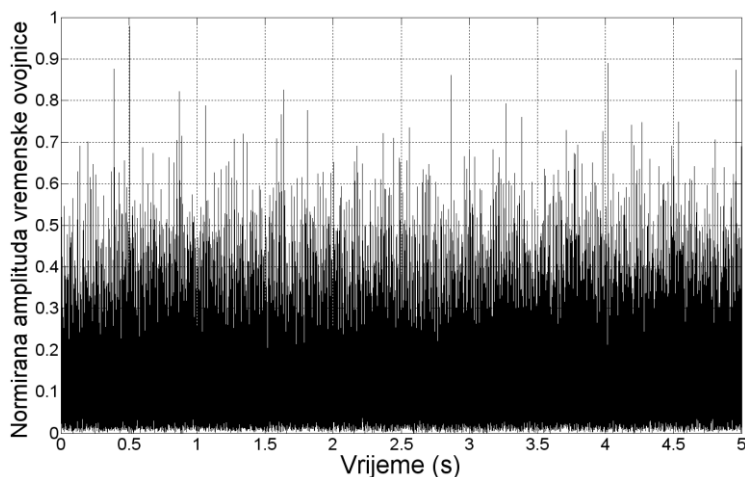
Konkretan izračun analitičkog signala bilo bi teško provesti uporabom Hilbertove transformacije u njezinom izvornom obliku. Stoga stvarni algoritmi, koji računaju s diskretnim vrijednostima, najprije iz izvornog realnog diskretnog signala $x[n]$ pronalaze

njegov dvostrani spektar $X[k]$. Zatim taj dvostrani spektar pretvaraju u jednostrani spektar analitičkog signala $\tilde{X}[k]$ postavljanjem amplituda negativnih frekvencijskih komponenata u spektru na vrijednost 0 te množenjem amplituda pozitivnih frekvencijskih komponenata s faktorom 2. Konačno, iz spektra analitičkog signala moguće je naći njegov vremenski oblik $\tilde{x}[n]$.

Apsolutna vrijednost analitičkog signala predstavlja traženu vremensku ovojnica $E[n]$:

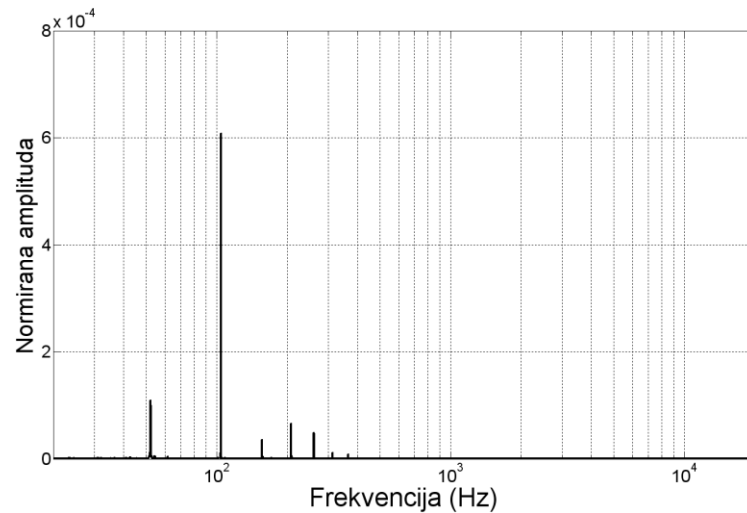
$$E[n] = |\tilde{x}[n]| \quad (2.28)$$

Vremenska ovojnica signala, dobivena na gore opisan način za valni oblik zvučnog signala pokazan na slici 2.17, pokazana je na slici 2.18.



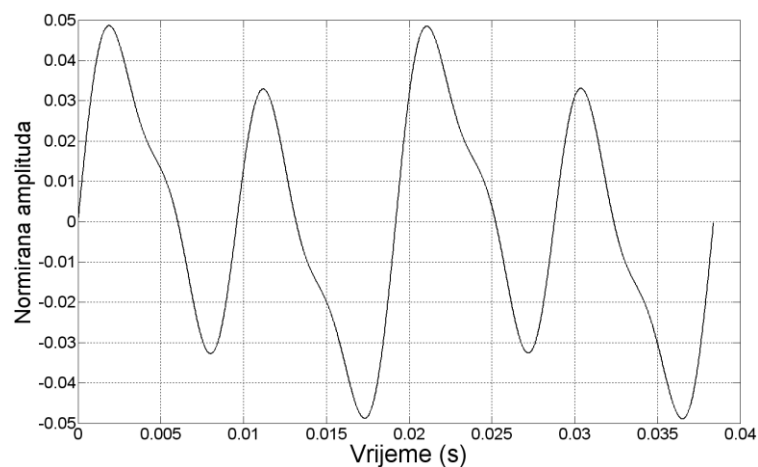
Slika 2.18. Vremenska ovojnica signala sa slike 2.17

Iz slike 2.18 vidljivo je da ni vremenska ovojnica izvornog zvučnog signala sama po sebi neće pružiti informacije koje želimo dobiti, no, te informacije moguće je dobiti promatranjem njezinog spektra. Spektar snage vremenske ovojnice sa slike 2.18 pokazan je na slici 2.19. U izračunatom spektru vremenske ovojnice pojavljuju se jasno vidljive frekvencijske komponente. Te se komponente sada uzimaju kao ulazne veličine za dobivanje dodatnih parametara kojima se može opisati izvorni zvučni signal.



Slika 2.19. Spektar snage vremenske ovojnice sa slike 2.18

Algoritam traži istaknute frekvencijske komponente u spektru snage vremenske ovojnice počevši od one čija je magnituda najveća. Ta se komponenta proglašava dominantnom modulacijskom komponentom i kao jedan od parametara bilježi se njezina frekvencija f_{mmax} , kao i magnituda M_{mmax} . U obzir se uzimaju samo one frekvencijske komponente čija je magnituda $M > 0,1 \cdot M_{\text{mmax}}$, s tim da je ukupan broj takvih komponenata ograničen na n . Iz ovako utvrđenih modulacijskih komponenata može se rekonstruirati valni oblik modulacijskog signala kao zbroj valnih oblika svih modulacijskih komponenata. Primjer tako rekonstruiranog modulacijskog signala pokazan je na slici 2.20 za vremensku ovojnicu izvornog signala sa slike 2.17. Vremenski prozor pokazan na slici ograničen je na 40 ms, kako bi njime bile obuhvaćene dvije periode najniže pronađene modulacijske frekvencije.



Slika 2.20. Prvih 40 ms rekonstruiranog valnog oblika modulacijskog signala za signal sa slike 2.17

Ukupna snaga P_m koju imaju sve modulacijske komponente pronađene na gore opisani način računa se jednostavno kao zbroj njihovih magnituda. Sada se može definirati dominantnost magnitudom najveće frekvencijske komponente D kao udio njezine magnitude M_{mmax} u ukupnoj snazi P_m svih modulacijskih komponenata, prema izrazu:

$$D = \frac{M_{mmax}}{P_m} \quad (2.29)$$

Vrijednost dominantnosti D definirane na gore opisan način kreće se u intervalu $[1/n, 1]$, pri čemu je n već spomenut broj modulacijskih komponenata.

Nadalje, iz spektra snage izvornog signala računa se ukupna snaga P toga signala. Sada se može definirati parametar R_{mt} kojim se procjenjuje dubina modulacije, kao logaritmirani omjer snage pronađenih modulacijskih komponenata P_m i ukupne snage izvornog signala P prema izrazu:

$$R_{mt} = 10 \log \frac{P_m}{P} \text{ [dB]} \quad (2.30)$$

Pri modulaciji sinusnog vala nosioca sinusnom modulacijskim signalom, gore definirani omjer snaga postiže svoju najveću vrijednost od $1/3$ uz indeks modulacije jednak 1 te tada parametar R_{mt} poprima vrijednost od $-4,8$ dB. Kod umjetno stvorenih ispitnih signala koji se sastoje od bijelog ili ružičastog šuma moduliranog sinusnim signalom i time su bliži zvučnim signalima stvarnih uređaja, pokazuje se da je vrijednost parametra R_{mt} manja za cca 1 dB od njegove vrijednosti za sinusni val nosilac, uz određenu vrijednost indeksa modulacije m_a .

Konačno, alternativni način procjene dubine modulacije zasnovan je na procjeni indeksa modulacije m_a na temelju dobivenih snaga modulacijskog signala P_m i ukupnog signala P . Relacija od koje se polazi jest omjer spomenutih snaga u slučaju sinusnog modulacijskog signala i sinusnog vala nosioca, pri čemu je:

$$\frac{P_m}{P} = \frac{\frac{m_a^2}{2} P_c}{\left(1 + \frac{m_a^2}{2}\right) P_c} = \frac{m_a^2}{2 + m_a^2} \quad (2.31)$$

gdje je P_c snaga nosioca, odnosno

$$m_a = \sqrt{\frac{2P_m}{P - P_m}} \quad (2.32)$$

Iako je ovakav izračun egzaktan samo u slučaju kada su i modulacijski signal i nosilac sinusnog oblika, ovakva se procjena može upotrijebiti i u slučaju složenih modulacijskih signala uz širokopojasni šum kao nosilac, što je redovito slučaj kod zvukova koje emitiraju stvarni uređaji.

Testiranjem algoritma pomoću ispitnog signala koji se sastoji od šuma moduliranog složenim signalom sastavljenim od n sinusnih komponentata, od kojih svaka ima drukčiji indeks modulacije, pokazalo se da je ukupni indeks modulacije dobiven na gore opisani način približno jednak:

$$m_a \approx \sqrt{m_{a1}^2 + m_{a2}^2 + \dots + m_{an}^2} \quad (2.33)$$

uz uvjet da je zbroj svih indeksa modulacije manji od 1, odnosno:

$$m_{a1} + m_{a2} + \dots + m_{an} < 1 \quad (2.34)$$

što je redovito slučaj kod zvučnih signala stvarnih uređaja.

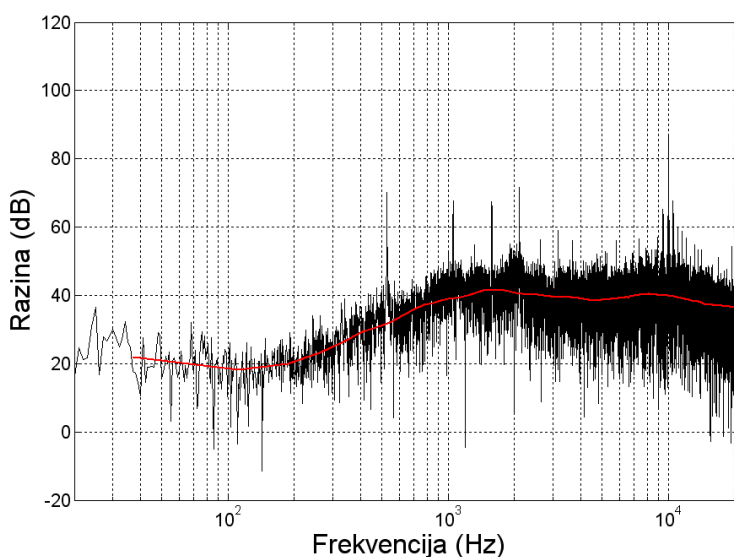
Dodatna analiza vremenske ovojnice provedena je na gore opisani način, s tim da su ovaj puta uzete u obzir samo modulacijske komponente čije su frekvencije niže od 150 Hz. Naime, inicijalnom analizom vremenske ovojnice utvrđeno je da je u nekim slučajevima indeks modulacije visok, a njezino postojanje u signalu ipak nije čujno te da se ovakav slučaj redovito događa kada dominantna modulacijska frekvencija premaši vrijednost od 150 Hz, koja je upravo zbog toga uzeta kao granična vrijednost u ovom koraku analize. Za frekvencijske komponente pronađene na upravo opisan način analiza se provodi radi ponovne procjene dubine modulacije pomoću parametra R_{mt150} , odnosno indeksa modulacije m_{a150} te utvrđivanja dominantne modulacijske frekvencije f_{m150} i njezine dominantnosti D_{150} .

2.2.8. Analiza tonalnog sadržaja zvuka

Analiza tonalnog sadržaja zvuka djelomično je provedena primjenom postojećih modela pojedinih objektivnih parametara [54, 66, 67], a dijelom počiva na vlastitom pristupu. Bit ove analize sadržana je u izrađenoj MATLAB funkciji *tonalnaanaliza* pokazanoj u prilogu 1. Analiza počiva na nizu dodatnih funkcija pomoću kojih je na nekoliko načina analiziran spektralni sadržaj zvuka uređaja radi definiranja dodatnih parametara kojima se na objektivan način opisuje zvučna slika uređaja. Tijek analize detaljno je opisan u nastavku, a njezin zadatak i cilj jest utvrditi postojanje istaknutih tonskih komponenata u spektru [68, 69] te ispitati njihovu važnost i njihove međusobne odnose.

S obzirom na to da određeni dijelovi analize zahtijevaju točne vrijednosti amplitude, odnosno razine signala kako bi radili ispravno, prije provedbe analize nužno je provesti kalibraciju zvučnog signala. Kako je već spomenuto, polazna točka za ovu analizu jest spektar zvuka koji uređaji proizvode pri radu, koji se dobiva izravno iz valnog oblika zvučnog signala. Budući da se analiza uglavnom osniva na snazi tonskih komponenata ili pojedinih dijelova spektra, u sâmom algoritmu koristi se spektar snage. Nad tim se spektrom pomoću funkcije *spektusr*, čiji je oblik pokazan u prilogu 1, provodi usrednjavanje u određenom broju koraka radi dobivanja glatke krivulje potrebne za provedbu daljnjih koraka u analizi.

Primjer spektra izvornog zvučnog signala nekog uređaja i njegove usrednjene vrijednosti prikazan je na slici 2.21. Jasno je vidljivo postojanje istaknutih tonskih komponenata koje je potrebno identificirati.



Slika 2.21. Spektar zvučnog signala i njegova usrednjena vrijednost

2.2.8.1. Identifikacija značajnih tonskih komponenata

Identifikacija istaknutih tonskih komponenata obavlja se pomoću funkcije *toneselect* pokazane u prilogu 1. Način identifikacije takvih komponenata u signalu oslanja se na dva kriterija. Osnovni uvjet koji određena spektralna linija mora zadovoljiti da bi bila proglašena mogućom tonskom komponentom jest taj da se u njoj nalazi lokalni maksimum spektra snage, tj.

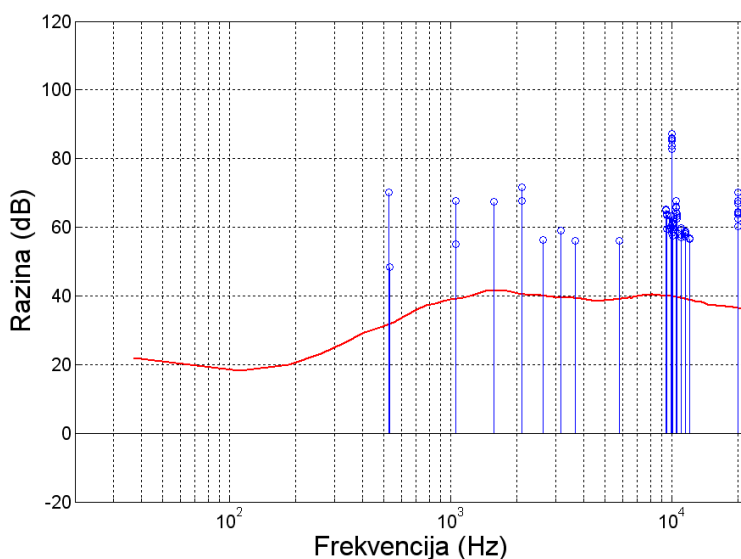
$$L_p(i-1) < L_p(i) > L_p(i+1) \quad (2.35)$$

Budući da osnovni uvjet kao rezultat daje vrlo veliki broj spektralnih linija kao mogućih kandidata, od kojih je većina nevažna, drugi nužni uvjet koji određena spektralna linija mora zadovoljiti jest taj da se njezina razina L_p izdiže iznad usrednjene vrijednosti spektra snage barem za iznos praga th izračunatog za konkretnu frekvenciju f spektralne linije. U fazi ugađanja algoritma ustanovljeno je da se najbolji rezultati u identificiranju relevantnih tonskih komponenata postižu uz frekvencijski ovisnu vrijednost praga $th(f)$. Pri tome je razmatrano područje frekvencija od početne frekvencije $f_p = 25$ Hz do krajnje frekvencije $f_k = 20\ 000$ Hz, a vrijednost praga monotono raste s frekvencijom od vrijednosti $th(f_p) = 11$ dB do $th(f_k) = 18$ dB. Ovisnost praga o frekvenciji izražena je linearnom promjenom vrijednosti praga s logaritmom frekvencije. Uzevši u obzir početnu i krajnju frekvenciju te zadane vrijednosti praga na tim frekvencijama, može se napisati izraz za ovisnost praga o frekvenciji kao:

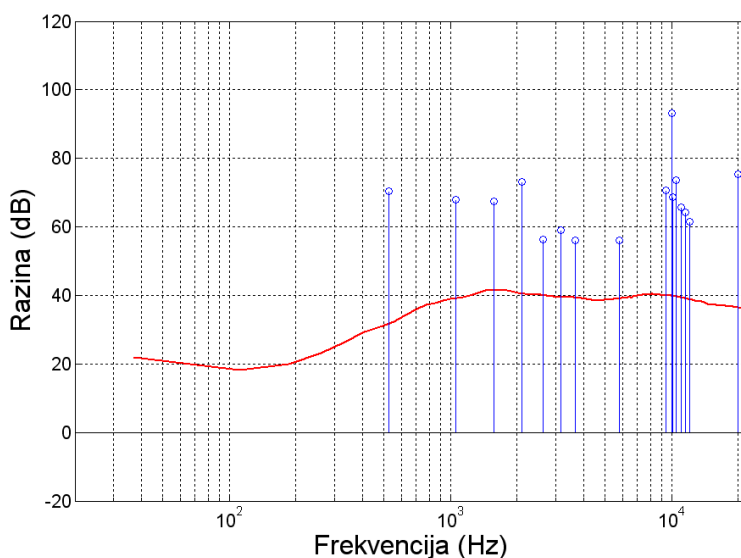
$$th(f) = \frac{th(f_k) - th(f_p)}{\log \frac{f_k}{f_p}} \cdot \log \frac{f}{f_p} + th(f_p) \quad [\text{dB}] \quad (2.36)$$

Frekvencije i razine tonskih komponenata utvrđenih na gore opisani način pohranjuju se radi daljnje analize. Primjer ovako izdvojenih tonskih komponenata pokazan je na slici 2.22 za zvučni signal čiji je spektar prikazan na slici 2.21. Usporedbom slika 2.22 i 2.21 vidi se da su pronađene sve relevantne tonske komponente, međutim, oko nekih od njih postoji jedna ili više frekvencijski vrlo bliskih komponenata. Kako bi se smanjio broj frekvencijskih komponenata koje se prosljeđuju na daljnju analizu, funkcijom *tonecorrect* provodi se korekcija pronađenih tonskih komponenata tako da se snage svih takvih bliskih

komponentata zbrajaju te se razina tako dobivene ukupne snage pridjeljuje komponenti čija je izvorna razina bila najviša. Rezultat takve korekcije pokazan je na slici 2.23.



Slika 2.22. Tonske komponente izdvojene inicijalnim postupkom



Slika 2.23. Pronađene tonske komponente nakon primijenjene korekcije

2.2.8.2. Harmonički i intermodulacijski sadržaj

Na komponentama koje su preostale nakon provedbe gore opisane korekcije provodi se analiza harmoničkog sadržaja pomoću funkcije *harmIMcontent* kao jedan od načina definiranja odnosa među pronađenim komponentama. Na početku spomenute analize sve su pronađene komponente označene kao osnovne frekvencije. Potraga za mogućim

harmonicima počinje od komponente s najnižom frekvencijom i nastavlja se redom za sve ostale komponente. Za određenu osnovnu frekvenciju f pretraga se provodi samo za komponente koje su frekvencijom više od nje. Ukoliko se frekvencija neke od tih komponenata nalazi unutar uskih granica oko frekvencija $n \cdot f$ definiranih u algoritmu, takva komponenta se tada proglašava harmonikom osnovne frekvencije za koju se provodi pretraga i, sukladno tome, označena je kao harmonik, pri čemu se analiza za svaku osnovnu frekvenciju provodi do njezinog 25. harmonika, dakle $n = 2, 3, \dots, 25$. Komponenta identificirana i označena kao harmonik uklanja se iz daljnjeg tijeka analize jer se analiza provodi samo za komponente označene kao osnovne frekvencije. Izuzetak od upravo opisanog postupka su harmonici visokog rednog broja, od desetog naviše, koji, doduše, ostaju zapisani kao harmonici neke osnovne frekvencije, ali zadržavaju svoj status osnovne frekvencije i time i dalje podliježu pretrazi. Ovaj je izuzetak načinjen jer je utvrđeno da se vrlo često mogu pronaći harmonici vrlo visokog rednog broja, čak većeg od 50, pogotovo za niske osnovne frekvencije, reda veličine 100 Hz ili niže. Ta je činjenica i razumljiva uzme li se u obzir građa nekog stvarnog uređaja, u kojem su prijenosni omjeri, a time i odnosi brzine vrtnje pojedinih dijelova uređaja u odnosu na brzinu vrtnje pogonskog elementa, vrlo često cjelobrojni. U tom su slučaju osnovna frekvencija zvuka koji emitira neki dio uređaja u gibanju, kao i njezini harmonici, već cjelobrojni višekratnici, odnosno harmonici osnovne frekvencije koja se pojavljuje u zvuku pogonskog elementa. Stoga je gore opisani izuzetak načinjen upravo u želji da se identificiraju i međusobno povežu tonske komponente koje se pojavljuju kao posljedica gibanja određenog dijela uređaja.

Primjer rezultata dobivenih ovakvom analizom pokazan je tablicom 2.1 za zvuk uređaja spektar kojega je pokazan na slici 2.21. Iz tablice je vidljivo da u ovom primjeru najniža pronađena frekvencija, ujedno i najniža osnovna frekvencija ima veliki broj harmonika od kojih su neki, iako prepoznati kao harmonici, proslijeđeni na daljnju analizu kao nove osnovne frekvencije iz već opisanih razloga.

Tablica 2.1. Primjer rezultata analize harmoničkog sadržaja

Osnovne frekvencije (Hz)		526	5775	9979
Redni broj harmonika i te njegova stvarna frekvencija (Hz)	2	1051	11554	19945
	3	1576	0	0
	4	2101	0	0
	5	2626	0	0
	6	3151	0	0
	7	3675	0	0
	8	0	0	0
	9	0	0	0
	10	0	0	0
	11	5775	0	0
	12	0	0	0
	13	0	0	0
	14	0	0	0
	15	0	0	0
	16	0	0	0
	17	0	0	0
	18	9452	0	0
	19	9979	0	0
	20	10499	0	0
	21	11029	0	0
	22	11554	0	0
	23	12072	0	0
	24	0	0	0
	25	0	0	0

Nakon analize harmoničkog sadržaja provodi se analiza intermodulacijskog sadržaja, i dalje pomoću funkcije *harmIMcontent*, s ciljem pronalaska parova frekvencijskih komponenta čije frekvencije f_1 i f_2 , odnosno njihovi zbrojevi i razlike oblika $f_2 \pm n f_1$ ukazuju na postojanje intermodulacijskih komponenta među pronađenim tonskim komponentama. U samom algoritmu, potraga za frekvencijom f_1 , koja predstavlja frekvencijom nižu komponentu u spomenutom frekvencijskom paru, oslanja se na dva kriterija: frekvencija mora biti označena kao osnovna i ne smije biti veća od 600 Hz. Za svaku pronađenu komponentu frekvencije f_1 moguće je pronaći određen broj komponenta frekvencije f_2 , koje predstavljaju frekvencijom višu komponentu u frekvencijskom paru. Osnovni uvjet koji mora zadovoljiti komponenta frekvencije f_2 jest da njezina frekvencija mora biti najmanje 15 puta veća od frekvencije f_1 . Nadalje, analizom su obuhvaćene intermodulacijske komponente do uključivo 5. reda, dakle, moguće kandidate treba tražiti u frekvencijskom intervalu $[f_2 - 4f_1, f_2 + 4f_1]$. U samom je algoritmu interval u kojem se provodi pretraga neznatno proširen u odnosu na gore definirane vrijednosti kako bi se sa sigurnošću moglo tvrditi da taj interval sadrži sve komponente od značaja. S obzirom na to da se u stvarnim zvučnim signalima ne očekuje jaka intermodulacija, pretpostavka koja je

načinjena u modelu jest da je komponenta frekvencije f_2 , oko koje se stvaraju intermodulacijske komponente, razinom najveća u cijelom intervalu. Ako to nije slučaj ili u intervalu nema drugih komponenata osim komponente frekvencije f_2 , onda ta komponenta nije pogodan kandidat i prelazi se na slijedeću. Za komponentu frekvencije f_2 koja zadovoljava sve postavljene uvjete ispituje se postoje li komponente čija se frekvencija nalazi unutar uskih granica oko frekvencije $f_2 + nf_1$, uz $n = -4, -3, -2, -1, 1, 2, 3, 4$. Komponenta čija frekvencija zadovoljava postavljeni uvjet proglašava se intermodulacijskom komponentom reda $|n|+1$ i tako se i označava. Valja naglasiti da neka komponenta može biti proglašena intermodulacijskom iako je analizom harmoničkog sadržaja bila proglašena harmonikom. Razlog tome je što se analiza harmoničkog sadržaja proteže sve do 25. harmonika osnovne frekvencije, kako je pokazano na primjeru u tablici 2.1, pa tako i za komponente vrlo visokih frekvencija može biti utvrđeno da su one harmonici neke osnovne frekvencije. Nadalje, frekvencije f_2 i f_1 su nerijetko i same u harmoničkom odnosu pa su time i frekvencije $f_2 + nf_1$ u harmoničkom odnosu s frekvencijom f_1 . Budući da se analiza intermodulacijskog sadržaja provodi prema strožim kriterijima od analize harmoničkog sadržaja, i njezini nalazi samim time imaju veću težinu. Primjer rezultata analize intermodulacijskog sadržaja pokazan je tablicom 2.2 za zvuk uređaja spektar kojega je pokazan na slici 2.21. Vidljivo je da su intermodulacijskim komponentama proglašene iste one koje su analizom harmoničkog sadržaja bile proglašene harmonicima, upravo zbog toga što su u ovom primjeru frekvencije f_2 i f_1 u harmoničkom odnosu. Međutim, iz spektra zvučnog signala pokazanog na slici 2.21 vidljivo je da su rezultati analize intermodulacijskog sadržaja sasvim u skladu sa stvarnim stanjem. Stoga je potrebno korigirati harmonički sadržaj pokazan u tablici 2.1 prije nego se pristupi daljnjim koracima u analizi. Korigirani harmonički sadržaj prikazan je tablicom 2.3.

Tablica 2.2. Primjer rezultata analize intermodulacijskog sadržaja

Osnovne frekvencije (Hz)	f_1	526
	f_2	9979
Intermodulacijske komponente (Hz)	$f_2 - 4f_1$	0
	$f_2 - 3f_1$	0
	$f_2 - 2f_1$	0
	$f_2 - f_1$	9452
	f_2	9979
	$f_2 + f_1$	10499
	$f_2 + 2f_1$	11029
	$f_2 + 3f_1$	11554
	$f_2 + 4f_1$	12072

Tablica 2.3. Korigirani harmonički sadržaj

Osnovne frekvencije (Hz)	526	9979
2	1051	19945
3	1576	0
4	2101	0
5	2626	0
6	3151	0
7	3675	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
11	5775	0
12	0	0
13	0	0
14	0	0
15	0	0
16	0	0
17	0	0
18	0	0
19	9979	0
20	0	0
21	0	0
22	0	0
23	0	0
24	0	0
25	0	0

Nakon provedbe opisanih koraka analize i dovođenja u vezu pojedinih osnovnih frekvencija s njihovim harmonicima, u slijedećem je koraku analize definiran parametar harmoničke važnosti V . Njegova vrijednost računa se za svaku pronađenu osnovnu frekvenciju, pri čemu se u obzir uzima ukupni broj za nju pronađenih harmonika N i njihovi redni brojevi i , prema izrazu:

$$V = N \cdot \sum_{i=2}^{25} (26-i)^2, \{ \forall i: f_i \neq 0 \} \quad (2.37)$$

Rezultati izračuna harmoničke važnosti V pokazani su u tablici 2.4 za harmonički sadržaj pokazan u tablici 2.3.

Tablica 2.4. Harmonička važnost V tonskih komponenata za koje su pronađeni harmonici

Osnovne frekvencije (Hz)	526	9979
V	24520	576

Vidljivo je da je važnost V najniže osnovne frekvencije daleko veća od važnosti druge pronađene osnovne frekvencije, kako zbog velikog broja pronađenih harmonika, tako i zbog činjenice da gotovo polovica pronađenih harmonika ima male redne brojeve, koji nose veću težinu od onih velikih, u skladu s izrazom 2.37.

Konačno, za svaku osnovnu frekvenciju za koju je utvrđeno postojanje jednog ili više harmonika računa se ukupna snaga neparnih harmonika P_o i ukupna snaga parnih harmonika P_e . Definiiraju se logaritamski odnosi L_o i L_e tih dvaju snaga sa snagom osnovne frekvencije P_{f0} kao:

$$L_o = 10 \log \frac{P_o}{P_{f0}} \quad , \quad L_e = 10 \log \frac{P_e}{P_{f0}} \quad (2.38), (2.39)$$

Nadalje, ukoliko su za neku osnovnu frekvenciju pronađeni i parni i neparni harmonici, tada oba gore definirana omjera L_o i L_e imaju konačne vrijednosti pa je tada moguće definirati i odnos snaga neparnih i parnih harmonika L_{oe} kao:

$$L_{oe} = 10 \log \frac{P_o}{P_e} \quad (2.40)$$

Budući da se u spektru zvučnih signala uređaja analiziranih u ovim istraživanjima nalazi vrlo malo komponenata sa značajnim harmoničkim sadržajem, u ovoj se fazi analize bilježi samo frekvencija f_{hr} one komponente čija je harmonička važnost V najveća. Za tu se komponentu također bilježe i parametri L_o i L_e te L_{oe} , ali samo ako su njihove vrijednosti konačne, tj. ako u harmoničkom sadržaju spomenute frekvencije ima parnih, odnosno neparnih harmonika.

Rezultati analize intermodulacijskog sadržaja koriste se isključivo za korekciju rezultata analize harmoničkog sadržaja na opisani način. Dakako, iz njih se mogu dobiti određene informacije o modulacijskim frekvencijama koje se pojavljuju u zvučnom signalu, no te su informacije već dobivene analizom vremenske ovojnice cjelokupnog zvučnog signala.

2.2.8.3. Istaknutost (prominentnost) tonskih komponenata

Za pronađene tonske komponente provodi se i analiza njihove prominentnosti pomoću funkcije *prominence* pokazane u prilogu 1. Za pojedinu tonsku komponentu u spektru signala, prominentnost PR definira se kao logaritamski omjer snage sadržane u kritičnom pojasu centriranom oko tonske komponente koju ispituujemo u odnosu na srednju vrijednost snage sadržane u dva susjedna kritična pojasa [67].

Ako se frekvencija tonske komponente f izrazi odgovarajućim brojem Barka z_f , onda se njezina istaknutost može izraziti kao:

$$PR = 10 \log \frac{\sum_{z_f-0,5}^{z_f+0,5} G(z)}{\frac{1}{2} \left(\sum_{z_f-1,5}^{z_f-0,5} G(z) + \sum_{z_f+0,5}^{z_f+1,5} G(z) \right)} \quad (2.41)$$

pri čemu je $G(z)$ spektar snage signala izražen ne kao funkcija stvarne frekvencije f , već njezine vrijednosti transformirane u Bark domenu z .

Analiza se osniva na traženju razinom najviše komponente među istaknutim tonskim komponentama, kao i svih komponenata koje se nalaze unutar kritičnog pojasa centriranog oko spomenute razinom najviše komponente. Zatim se za tu komponentu izračuna njezina istaknutost prema gornjem izrazu te se sve pronađene komponente uklanjaju iz daljnjeg tijeka analize, i to stoga što je za razinom najvišu komponentu analiza već obavljena, a ostale komponente se nalaze u njezinoj blizini i sâmim time ne mogu biti istaknutije od nje. U slijedećem se koraku među preostalim komponentama opet traži razinom najviša i postupak se ponavlja.

Za potrebe daljnje analize bilježi se samo frekvencija najistaknutije tonske komponente f_{pr} te njezina prominentnost PR .

2.2.8.4. Odnos ton/šum

Osim analize prominentnosti, provodi se i izračun odnosa ton/šum T/N za pronađene tonske komponente pomoću funkcije *tonetonoise* pokazane u prilogu 1. Odnos ton/šum u svom se elementarnom obliku definira kao logaritamski omjer snage tonske komponente koju promatramo i snage šuma sadržanog u kritičnom pojasu centriranom oko spomenute

tonske komponente [67], koja se može izraziti kao ukupna snaga u tom kritičnom pojasu umanjena za snagu tonske komponente. Pri tome se zanemaruje utjecaj maskiranja koji imaju komponente koje se nalaze izvan kritičnog pojasa.

Dakle, ako frekvenciju tonske komponente f_p i u ovom slučaju izrazimo odgovarajućim brojem Barka z_p , onda se odnos ton/šum za tu komponentu u svom elementarnom obliku može izraziti kao:

$$\frac{T}{N} = 10 * \log 10 \frac{G(z_p)}{\sum_{z_p-0,5}^{z_p+0,5} G_n(z)} \quad (2.42)$$

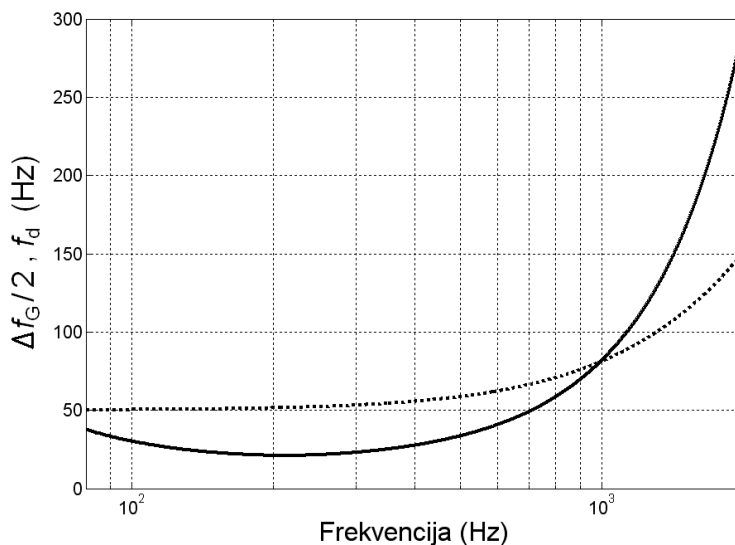
gdje je $G_n(z)$ spektar snage šuma u izvornom signalu izražen u funkciji Barkova. Sâm algoritam pretrage sličan je onome koji se koristi kod analize prominentnosti. Analiza počinje potragom za tonskom komponentom najviše razine, tj. primarnog tona te utvrđivanjem širine, odnosno granica kritičnog pojasa centriranog oko te komponente. Zatim je potrebno ispitati ima li unutar kritičnog pojasa još istaknutih tonskih komponenata, koje nazivamo sekundarnim tonovima.

Daljnji tijek analize ovisi o frekvenciji primarnog tona f_p te frekvencijama sekundarnih tonova f_{si} . Naime, u području frekvencija od 88 - 1000 Hz definiran je najveći dopustivi frekvencijski razmak primarnog i sekundarnog tona f_d , prema izrazu [67]:

$$f_d = 21 \cdot 10^{1,2 \left(\left| \log \frac{f}{212} \right| \right)^{1,8}} \text{ Hz} \quad , \quad 88 < f < 1000 \text{ Hz} \quad (2.43)$$

Ukoliko je frekvencijski razmak primarnog i sekundarnog tona $|f_p - f_s|$ manji od najvećeg dopustivog, primarni i sekundarni ton se ne separiraju, već se smatra da se radi o jednom tonu čija frekvencija odgovara frekvenciji primarnog tona f_p , a ukupna snaga zbroju snaga primarnog i sekundarnog tona. Ako je, pak, frekvencijski razmak dvaju tonova veći od najvećeg dopuštenog, tada se svaki ton analizira zasebno, primarni u trenutnom koraku analize, a sekundarni u nekom kasnijem. Važno je napomenuti da je u ovom slučaju potrebno ukloniti sekundarni ton iz spektra šuma u kritičnom pojasu prije izračuna odnosa ton/šum za primarni ton.

Usporedba funkcija najvećeg dopustivog frekvencijskog razmaka f_d u ovisnosti o frekvenciji i polovice širine kritičnog pojasa $\Delta f_G/2$, koju je moguće dobiti iz izraza 2.1, prikazana je na slici 2.24.



Slika 2.24. Poluširina kritičnog pojasa $\Delta f_G/2$ (crtkanom linijom) i najveći dopustivi frekvencijski razmak f_d (punom linijom)

Usporedbom ovih dviju funkcija vidi se da je za frekvencije primarnih tonova više od 1000 Hz poluširina kritičnog pojasa uvijek manja od najvećeg dopustivog frekvencijskog razmaka. Stoga se u tom slučaju svi tonovi unutar kritičnog pojasa mogu zamijeniti jedinstvenim primarnim tonom frekvencije f_p čija snaga odgovara zbroju snaga svih tonova.

Analiza, na način na koji je implementirana u funkciji *tonetonoise*, teče ovako: u svakom se koraku identificira razinom najveća komponenta koja postaje primarni ton te se utvrđuje njegova frekvencija f_p , odnosno odgovarajući Bark z_p .

Nakon toga sledi potraga za sekundarnim tonovima s frekvencijama f_{si} , odnosno odgovarajućim Barkovima z_{si} koji se nalaze unutar spomenutog kritičnog pojasa. Ako je frekvencija primarnog tona viša od 1000 Hz, snage svih tonova unutar kritičnog pojasa zbrajaju se te se tako dobivena ukupna snaga svih tonova P_{TCB} pridjeljuje primarnom tonu frekvencije f_p . Snaga svih tonova u kritičnom pojasu P_{TCB} može se izračunati kao:

$$P_{TCB} = G(z_p) + \sum_i G(z_{si}) \quad (2.44)$$

Ako se, pak, frekvencija primarnog tona nalazi unutar gore definiranog intervala između 88 i 1000 Hz, onda se zbrajaju snage samo onih tonova koji se nalaze unutar intervala $[f_p - f_d, f_p + f_d]$, čime se dobiva snaga P_{TFD} koja se pridjeljuje primarnom tonu. Ostali sekundarni tonovi koji se nalaze u kritičnom pojasu, ali ne i unutar spomenutog intervala, analiziraju se u nekom od slijedećih koraka analize. Dakle, snaga P_{TFD} može se izračunati kao:

$$P_{TFD} = G(z_p) + \sum_i G(z_{si}) \quad , \quad \forall i: f_{si} \in [f_p - f_d, f_p + f_d] \quad (2.45)$$

Iz kopije izvornog signala za potrebe analize već su ranije uklonjene sve pronađene tonske komponente pomoću odgovarajućeg broja vrlo uskih pojasnih brana. Središnje frekvencije tih filtara f_0 odgovaraju frekvencijama tonskih komponenata, a širina pojedinog filtra B ovisna je o njegovoj središnjoj frekvenciji i računa se prema izrazu:

$$B = 2^{\log f_0 + 0,5} \quad [\text{Hz}] \quad (2.46)$$

Promjenjiva širina pojasa filtara primijenjena je kako bi iz spektra izvornog signala filtriranjem bio uklonjen dio spektra oko tonske komponente čija širina je proporcionalna frekvenciji te tonske komponente. Gušenje filtra A_{st} postavljeno je upravo na vrijednost razlike razine tonske komponente L_p i usrednjene vrijednosti spektra snage na frekvenciji te tonske komponente, dakle, upravo na vrijednost za koju se ta komponenta izdiže iznad usrednjene vrijednosti spektra. Nakon provedenog filtriranja sve su pronađene tonske komponente uklonjene iz izvornog signala pa ostaje samo šum koji je bio prisutan u tom signalu. Iz tako modificiranog izvornog signala računa se spektar snage šuma $G_n(z)$, a iz njega se zatim računa ukupna snaga šuma P_{NCB} u kritičnom pojasu centriranom oko primarnog tona, prema izrazu:

$$P_{NCB} = \sum_{z_p - 0,5}^{z_p + 0,5} G_n(z) \quad (2.47)$$

Konačno, odnos ton/šum može se izračunati kao:

$$\frac{T}{N} = 10 * \log 10 \frac{P_T}{P_{NCB}} \quad (2.48)$$

pri čemu je:

$$P_T = \begin{cases} P_{TFD} & , \quad 88 < f_p < 1000 \text{ Hz} \\ P_{TCB} & , \quad \text{inače} \end{cases} \quad (2.49)$$

Iz izračuna odnosa ton/šum uzima se samo frekvencija $f_{U/n}$ komponente s najvećim odnosom ton/šum te iznos dobivenog odnosa ton/šum za tu komponentu.

2.2.8.5. Jednbrojna vrijednost tonalnosti

Za dobivanje jednbrojne vrijednosti tonalnosti T nekog zvuka upotrijebljena su saznanja Terhardta [66] i Auresa [54], odnosno modeli izgrađeni na temelju tih saznanja koji su uz minorne izmjene primijenjeni u funkciji *Aurestonality* pokazanoj u prilogu 1. U tim se modelima ukupna ocjena tonalnosti nekog zvuka osniva na nekoliko parametara kojima se opisuju tonske komponente pronađene u signalu, ali i ukupni šum u signalu. Za tonske komponente traži se njihova ostatna razina zvučnog tlaka L_{ex} , frekvencija f_p i pojasna širina Δz , koja ima važnost ako se radi o komponenti uskopojasnog šuma, dok je za čistu tonsku komponentu njezina vrijednost jednaka nuli. Udio šuma u signalu ocjenjuje se njegovom glasnoćom N_s u odnosu na glasnoću ukupnog signala N .

2.2.8.5.1. Ostatna razina zvučnog tlaka

Ostatnom razinom zvučnog tlaka neke tonske komponente L_{ex} predstavljena je čujnost, a time i važnost te komponente u analizi tonalnosti. U funkciji *SPLexcess* pokazanoj u prilogu 1 prikazan je postupak dobivanja ostatne razine zvučnog tlaka. Na nju utječu tri faktora, a prvi od njih jest maskiranje od strane ostalih tonskih komponenata, koje svojim postojanjem podižu prag čujnosti za određeni dio zvučnog sadržaja koji se, frekvencijski gledano, nalazi u njihovoj blizini. Konkretno, za određenu tonsku komponentu i može se izračunati utjecaj koji na nju ima neka druga tonska komponenta j određivanjem vrijednosti razine pobude $L_{Ej}(f_i)$, koja ujedno odgovara pragu maskiranja, koju komponenta

j ima na frekvenciji komponente i , prema izrazima 2.5 i 2.6. U izvornim modelima, ukupan utjecaj maskiranja koji na neku frekvencijsku komponentu i imaju ostale komponente j predstavljen je zbrojem doprinosa svih tih komponentata L_m . Opisani je izračun u primjeni izmijenjen u smislu da pri izračunu ukupnog utjecaja maskiranja nije uzet u obzir doprinos koje daju one komponente j koje su u potpunosti maskirane komponentom i , odnosno, ako je razina pobude $L_{Ei}(f_j)$ koju komponenta i ima na frekvenciji komponente j veća ili jednaka razini $L_p(f_j)$ same komponente j . Drugim riječima, ukupni utjecaj maskiranja ostalim frekvencijskim komponentama na frekvencijsku komponentu i računa se kao:

$$L_m(f_i) = 10 \log \left(\sum_j 10^{\frac{L_{Ej}(f_i)}{20}} \right)^2, \quad \forall j: (j \neq i) \vee (L_{Ei}(f_j) \geq L_p(f_j)) \quad (2.50)$$

Osim maskiranja uzrokovanog prisutnošću drugih tonskih komponentata, na čujnost određene tonske komponente utječe i šum koji se nalazi u kritičnom pojasu centriranom oko te komponente. Snaga tog šuma dobiva se iz već pronađenog spektra šuma sumiranjem snage svih spektralnih linija koje se nalaze unutar spomenutog kritičnog pojasa, prema izrazu:

$$P_{NCB}(z_i) = \sum_{z_i-0,5}^{z_i+0,5} G_n(z) \quad (2.51)$$

pri čemu je z_i odgovarajući Bark frekvencije tonske komponente f_i . Razina izračunate snage šuma $L_{NCB}(f_i)$ u kritičnom pojasu centriranom oko frekvencije f_i dobiva se kao:

$$L_{NCB}(f_i) = 10 \log P_{NCB}(z_i) \quad (2.52)$$

Treći čimbenik koji utječe na čujnost neke tonske komponente jest vrijednost razine praga čujnosti $L_{TH}(f_i)$ na frekvenciji f_i te tonske komponente. Ovisnost razine praga čujnosti o frekvenciji može se dobro aproksimirati slijedećim izrazom:

$$L_{TH}(f) = 3,64 \cdot (f / kHz)^{-0,8} - 6,5 \cdot e^{-0,6(f / kHz - 3,3)^2} + 10^{-3} \cdot (f / kHz)^4 \quad [\text{dB}] \quad (2.53)$$

Dakle, ostatna razina zvučnog tlaka L_{ex} za neku se tonsku komponentu računa kao razlika stvarne razine zvučnog tlaka i zbroja razina triju gore opisanih čimbenika, prema izrazu:

$$L_{ex}(f_i) = L_p(f_i) - 10 \log \left(10^{\frac{L_m(f_i)}{10}} + 10^{\frac{L_{NCB}(f_i)}{10}} + 10^{\frac{L_{TH}(f_i)}{10}} \right) \text{ [dB]} \quad (2.54)$$

2.2.8.5.2. Težinski faktori tonских komponenata

Ocjena ukupne tonalnosti nekog zvuka temelji se na frekvenciji svake od pronađenih tonских komponenata f_p , njezinoj pojasnoj širini Δz i ostatnoj razini zvučnog tlaka L_{ex} . Pri tome valja naglasiti da se samo tonske komponente čija je ostatna razina zvučnog tlaka veća od nule smatraju čujnima, a time i značajnima za ukupni doživljaj tonalnosti nekog zvuka. Stoga se izračun opisan u nastavku primjenjuje samo na takve komponente.

Prije konačnog izračuna ukupne tonalnosti nekog zvuka, svakom od gore spomenutih parametara koji opisuju neku tonsku komponentu dodjeljuje se određena težina. Aures [54] definira odgovarajuće težinske faktore na slijedeći način: prvi težinski faktor $w_1(\Delta z)$ naznačuje težinsku vrijednost koja se pridjeljuje tonskoj komponenti ovisno o njezinoj pojasnoj širini, a definiran je slijedećim izrazom:

$$w_1(\Delta z) = \frac{0,13}{\Delta z / \text{Bark} + 0,13} \quad (2.55)$$

Drugi težinski faktor $w_2(f)$ pridjeljuje težinsku vrijednost nekoj tonskoj komponenti ovisno o njezinoj frekvenciji. Ovaj je faktor definiran slijedećim izrazom:

$$w_2(f) = \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 0,2 \left(\frac{f}{700} + \frac{700}{f} \right)^2}} \right)^{0,29} \quad (2.56)$$

Treći težinski faktor $w_3(L_{ex})$ pridjeljuje nekoj tonskoj komponenti težinsku vrijednost u ovisnosti o ostatnoj razini zvučnog tlaka izračunatoj za tu komponentu, a definiran je slijedećim izrazom:

$$w_3(L_{\text{ex}}) = \left(1 - e^{-\frac{L_{\text{ex}}}{15}}\right)^{0,29} \quad (2.57)$$

Ukupni težinski faktor svih čujnih tonskih komponenata w_T dobiva se kao kvadratni korijen iz zbroja kvadrata umnožaka sva tri težinska faktora utvrđena za te komponente, s tim da se umjesto izvornih primjenjuju modificirani težinski faktori, prema izrazu:

$$w_T = \sqrt{\sum_{i=1}^n [w_1'(\Delta z_i) w_2'(f_{pi}) w_3'(L_{\text{ex}i})]^2} \quad (2.58)$$

pri čemu je n ukupni broj čujnih tonskih komponenata, a modificirani su težinski faktori tih komponenata dobiveni iz izvornih na slijedeći način:

$$w_j' = w_j^{\frac{1}{0,29}}, \quad j = 1, 2, 3 \quad (2.59)$$

2.2.8.5.3. Težinski faktor šuma

Osim doprinosa koji dojmu tonalnosti daju tonske komponente, utvrđuje se i doprinos šuma koji postoji u signalu na temelju glasnoće izvornog signala N i glasnoće signala šuma $N_{\text{š}}$ izvedenog iz izvornog signala iz kojeg su na prije opisani način uklonjene tonske komponente. Težinski faktor šuma $w_{\text{š}}$ dobiva se tada kao:

$$w_{\text{š}} = 1 - \frac{N_{\text{š}}}{N} \quad (2.60)$$

2.2.8.5.4. Ukupna tonalnost T

Na temelju gore opisanog postupka i njime dobivenog ukupnog težinskog faktora tonskih komponenata w_T i težinskog faktora šuma $w_{\text{š}}$ može se izraziti ukupna tonalnost T nekog zvuka prema izrazu:

$$T = k \cdot w_T^{0,29} w_{\text{š}}^{0,79} \quad (2.61)$$

Konstanta k određuje se iz uvjeta da tonalnost referentnog zvuka predstavljenog tonom frekvencije 1 kHz i razine 60 dB mora biti jednaka 1, čime izraz 2.61 prelazi u:

$$T = 1,1041 \cdot w_T^{0,29} w_S^{0,79} \quad (2.62)$$

Za potrebe daljnje analize pohranjuje se podatak o ukupnoj tonalnosti T zvuka određenog uređaja te frekvencija f_T komponente koja najviše pridonosi dojmu tonalnosti.

2.2.8.6. Analiza harmoničkog sadržaja čujnih tonskih komponenata

Nakon provedene analize kojom je utvrđeno koje su od pronađenih tonskih komponenata stvarno i čujne, ponovno se provodi analiza harmoničkog sadržaja u koju ovaj puta ulaze samo čujne tonske komponente, opet pomoću funkcije *harmIMcontent*. Kao i pri izvornoj analizi harmoničkog sadržaja, kao rezultat se dobiva i pohranjuje frekvencija f_{xhr} čija je važnost najveća, zatim njezina harmonička važnost V_x te odnos snage parnih, odnosno neparnih harmonika i snage osnovne frekvencije L_{xo} i L_{xe} , kao i odnos snaga parnih i neparnih harmonika L_{xoe} .

2.3. Objektivni parametri zvučne slike uređaja pri zaustavljanju

Pri zaustavljanju uređaja prekida se napajanje električnom energijom. Zbog postojanja trenja kontinuirano se smanjuje kinetička energija pokretnih dijelova uređaja, čime se odziv sustava na početnu pobudu kontinuirano mijenja. U okviru dosadašnjih istraživanja vezanih uz kvalitetu zvuka uređaja, zvuk koji uređaji proizvode pri zaustavljanju nije uziman u obzir prvenstveno zbog toga što, s obzirom na nestacionarni karakter rezultirajućeg zvuka uređaja, definiranje jednobrojnih parametara kojima je moguće opisati zvučnu sliku uređaja pri zaustavljanju nije jednostavan zadatak jer se vrijednosti parametara koji opisuju zvučni signal i njegov frekvencijski sadržaj kontinuirano mijenjaju s vremenom. Pritom se prvenstveno misli na amplitude i/ili frekvencije pojedinih spektralnih komponenata u zvuku uređaja.

Međutim, upravo zbog specifičnog karaktera odziva elektromehaničkog sustava uređaja na prestanak pobude pri zaustavljanju, očekuje se da će zvuk uređaja proizveden pri

zaustavljanju sadržavati korisne informacije o stanju uređaja i eventualnim nedostacima u njegovoj konstrukciji. Takve informacije nije moguće dobiti iz zvuka koji uređaj proizvodi u praznom hodu jer je u tom slučaju pobuda mehaničkog sustava uređaja ograničena na jednu frekvenciju koja odgovara nazivnoj brzini vrtnje. Stoga je u okviru istraživanja opisanih u ovoj disertaciji naglasak stavljen upravo na opis zvučne slike uređaja pri zaustavljanju. Rezultati provedenih subjektivnih ispitivanja govore u prilog ovakvom pristupu jer su ispitanici koji su sudjelovali u ispitivanjima vrlo često donosili konkretne sudove o razlikama između pojedinih uređaja upravo na temelju zvuka koji ti uređaji proizvode pri zaustavljanju.

Analiza promjene glasnoće zvuka uređaja u ovisnosti o vremenu pri zaustavljanju provedena je primjenom vlastitog pristupa detaljno opisanog u nastavku teksta i implementiranog MATLAB funkcijama *glasnoca* i *statldsp*, čiji je oblik pokazan u prilogu 1. Na temelju te analize definirani su objektivni parametri kojima se može opisati zvučna slika uređaja pri zaustavljanju.

2.3.1. Ukupna glasnoća pri zaustavljanju

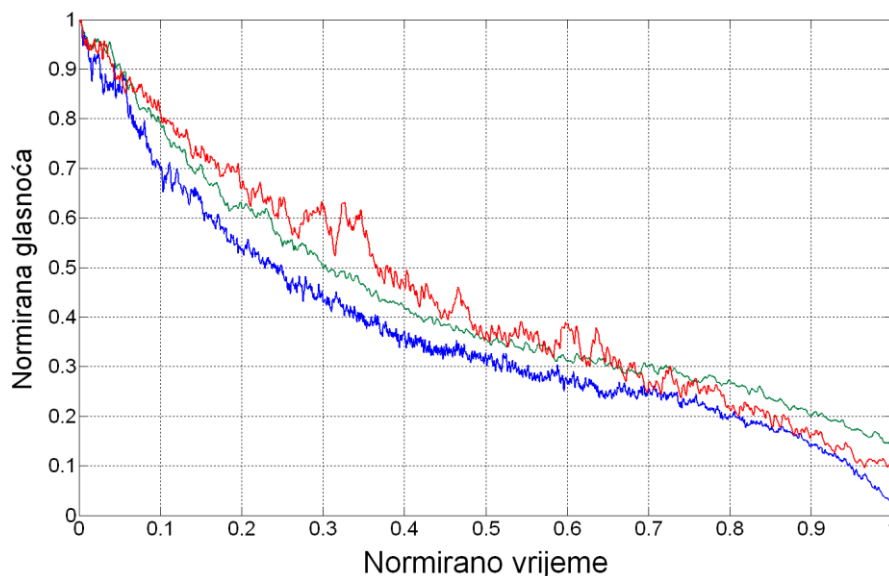
Prilikom analize promjene ukupne glasnoće pri zaustavljanju uređaja prije svega je potrebno naći i provesti transformaciju dobivenih podataka koja omogućava izravnu usporedbu ponašanja ukupne glasnoće za uređaje istog tipa, neovisno o vrijednostima glasnoće u početnom trenutku zaustavljanja te vremenu potrebnom za zaustavljanje. Izvorno dobivene vrijednosti glasnoće izračunate su u M vremenskih točaka čiji je razmak definiran postavkama pojedinog modela za računanje glasnoće implementiranog u MATLAB-u.

Gore opisani problem riješen je normiranjem obje varijable, i glasnoće N i vremena t , s tim da je vrijeme normirano na svoju najveću vrijednost koja je jednaka vrijednosti vremena zaustavljanja T_s , a glasnoća na svoju vrijednost N_0 u trenutku početka zaustavljanja, koja ujedno predstavlja i najveću vrijednost glasnoće. Dakle, normirano vrijeme t_n i normirana glasnoća N_n mogu se izraziti kao:

$$t_n = \frac{t}{T_s}, \quad N_n = \frac{N}{N_0} \quad (2.63), (2.64)$$

a vrijednosti obje normirane varijable ograničene su na interval $[0,1]$.

Primjer usporedbe ponašanja glasnoće u vremenu pokazan je na slici 2.25 za tri ručne kružne pile.



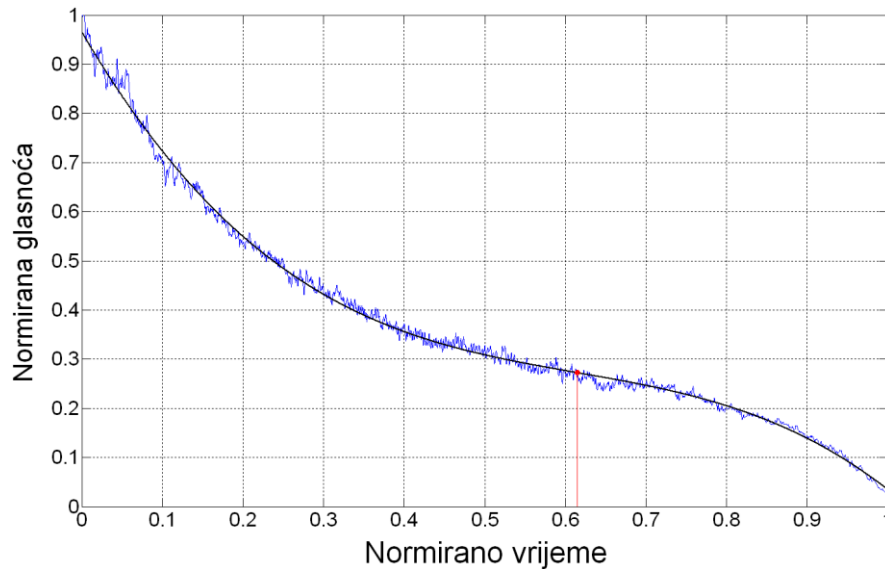
Slika 2.25. Usporedba ponašanja glasnoće u ovisnosti o vremenu za tri ručne kružne pile

Na slici je vidljivo da normirana glasnoća nikada ne padne na vrijednost nula, što je posljedica pozadinske buke koja je bila prisutna pri uzimanju uzoraka zvuka uređaja. Vrijednost normirane glasnoće na kraju intervala zaustavljanja ovisi, dakako, o stvarnoj vrijednosti glasnoće pozadinske buke normiranoj na stvarnu vrijednost glasnoće N_0 koju ona poprima na početku intervala zaustavljanja, a koja se razlikuje od uređaja do uređaja. Analizom ponašanja ukupne glasnoće u ovisnosti o vremenu utvrđeno je da se promjena glasnoće u vremenu tijekom zaustavljanja uređaja uključenih u istraživanje može vrlo dobro aproksimirati polinomom trećeg stupnja. Za normirano vrijeme t_n i normiranu glasnoću N_n taj se polinom može izraziti kao:

$$N_n(t_n) = p_3 t_n^3 + p_2 t_n^2 + p_1 t_n + p_0 \quad (2.65)$$

Radi jednoobraznosti i mogućnosti definiranja jednoznačnih i međusobno usporedivih parametara za sve je uređaje kao najbolja aproksimacija uzet polinom trećeg stupnja, iako je u pojedinim slučajevima analizom reziduala utvrđeno da se može postići i bolja aproksimacija, ali samo uporabom polinoma od petog stupnja naviše.

Primjer stvarne normirane glasnoće i njezine aproksimacije polinomom trećeg stupnja prikazan je na slici 2.26. Na slici je naznačen i položaj točke infleksije koja predstavlja granicu konkavnog i konveksnog dijela aproksimativne krivulje glasnoće.



Slika 2.26. Primjer stvarne normirane glasnoće i njezine aproksimacije polinomom trećeg stupnja

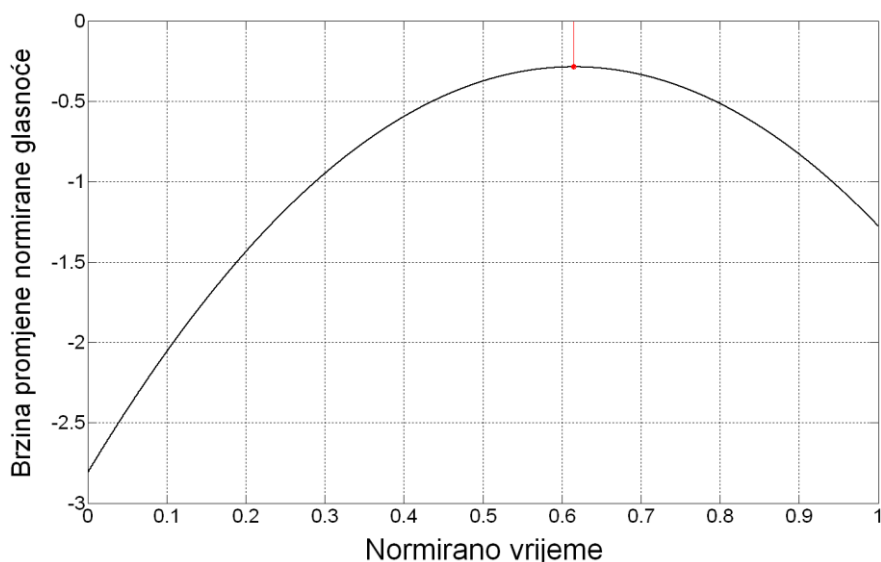
Prva derivacija po vremenu $N_n'(t_n)$ funkcije $N_n(t_n)$ daje vrijednosti brzine promjene normirane glasnoće u ovisnosti o normiranom vremenu. S obzirom na to da je sama aproksimacija polinom trećeg stupnja, njezina prva derivacija jest polinom drugog stupnja, odnosno kvadratna funkcija.

$$N_n'(t_n) = \frac{dN_n(t_n)}{dt_n} = 3p_3t_n^2 + 2p_2t_n + p_1 \quad (2.66)$$

Budući da je koeficijent p_3 uvijek manji od nule, a glasnoća uvijek monotono pada s vremenom, kvadratna funkcija prve derivacije $N_n'(t_n)$ nema nultočaka i uvijek poprima vrijednosti manje od nule. Te su vrijednosti po apsolutnom iznosu najveće na početku i, u najvećem broju slučajeva, na kraju intervala, što daje naslutiti da se glasnoća najbrže mijenja upravo na početku i na kraju procesa zaustavljanja. U vremenskom trenutku koji odgovara tjemenu kvadratne funkcije brzina promjene glasnoće je najmanja.

Primjer funkcije brzine promjene glasnoće prikazan je na slici 2.27 za isti uređaj za koji je pokazana aproksimacija normirane glasnoće na slici 2.26. Naznačen je i vremenski položaj

točke infleksije te je vidljivo da upravo u toj točki brzina promjene glasnoće poprima tjemenu vrijednost. Drugim riječima, u točki infleksije brzina promjene glasnoće je po apsolutnom iznosu najmanja, što znači da se glasnoća najmanje, odnosno najsporije mijenja upravo u točki infleksije.



Slika 2.27. Brzina promjene normirane glasnoće izražena funkcijom $N_n'(t_n)$

Druga derivacija neke funkcije u ovom kontekstu služi za ispitivanje zakrivljenosti funkcije i utvrđivanje intervala na kojima je ona konkavna ili konveksna. U ovom je slučaju druga derivacija normirane glasnoće u normiranom vremenu jednaka:

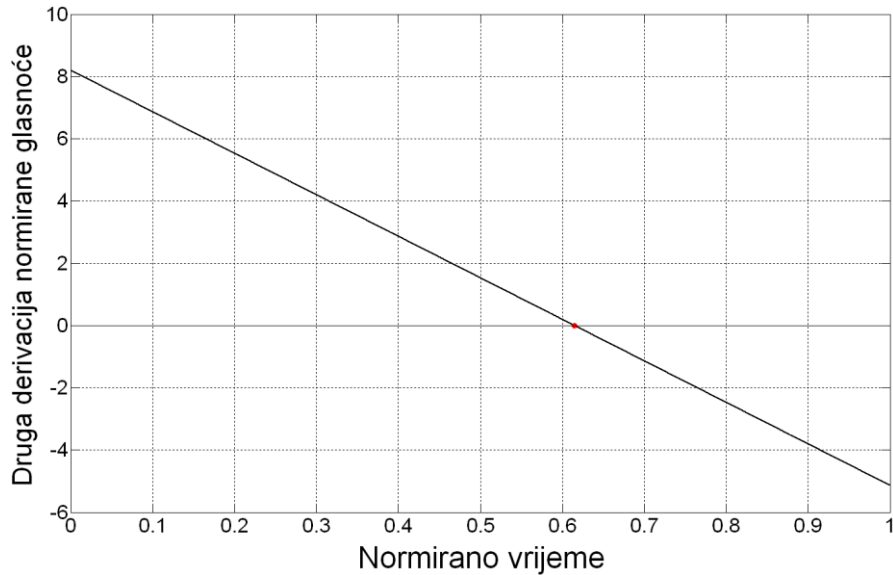
$$N_n''(t_n) = \frac{d^2 N_n(t_n)}{dt_n^2} = 6p_3 t_n + 2p_2 \quad (2.67)$$

Uloga druge derivacije normirane glasnoće $N_n''(t_n)$ je ovdje dvojaka. Prije svega, nultočka druge derivacije definira već spominjanu točku infleksije funkcije normirane glasnoće, koja se u najvećem broju slučajeva nalazi unutar normiranog vremenskog intervala te se može reći da se proces zaustavljanja u toj točki dijeli na dvije faze. Iz uvjeta da je druga derivacija normirane glasnoće jednaka nuli dobivamo vremenski položaj točke infleksije:

$$N_n''(t_{ni}) = 0 \rightarrow t_{ni} = -\frac{p_2}{3p_3} \quad (2.68)$$

Vremenski položaj točke infleksije t_{ni} definiran je kao jedan od parametara kojima se opisuje ponašanje glasnoće pri zaustavljanju.

Primjer druge derivacije normirane glasnoće pokazan je na slici 2.28 za isti uređaj za koji je pokazana aproksimacija na slici 2.26.



Slika 2.28. Druga derivacija normirane glasnoće $N_n''(t_n)$

2.3.2. Zakrivljenost krivulje glasnoće

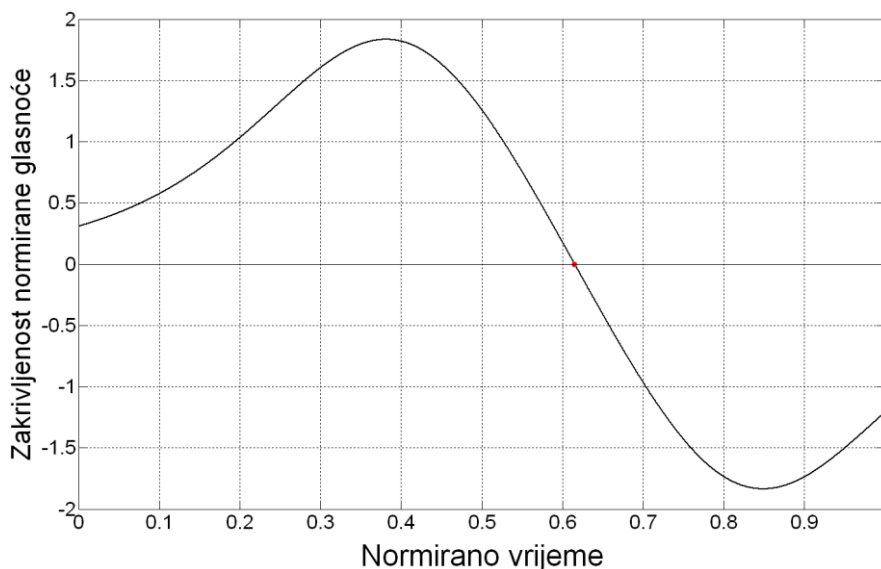
Dodatna uloga druge derivacije normirane glasnoće $N_n''(t_n)$ jest da se pomoću nje i prve derivacije normirane glasnoće $N_n'(t_n)$ može izračunati zakrivljenost $c(t_n)$ funkcije normirane glasnoće $N_n(t_n)$ za svaki vremenski trenutak, prema izrazu [70]:

$$c(t_n) = \frac{1}{\rho(t_n)} = \frac{N_n''(t_n)}{\left\{1 + [N_n'(t_n)]^2\right\}^{\frac{3}{2}}} \quad (2.69)$$

pri čemu je $\rho(t_n)$ vremenski ovisan polumjer zakrivljenosti krivulje normirane glasnoće opisane funkcijom $N_n(t_n)$.

Na slici 2.29 pokazana je funkcija zakrivljenosti $c(t_n)$ izračunata na gore opisani način za aproksimaciju normirane glasnoće pokazanu na slici 2.26. Iz slike i izraza 2.69 vidi se da zakrivljenost glasnoće poprima i pozitivne i negativne vrijednosti, a njezin predznak ovisi isključivo o predznaku druge derivacije normirane glasnoće u brojniku izraza, jer je

nazivnik izraza uvijek pozitivan. U točki infleksije vrijednost druge derivacije jednaka je nuli pa je i zakrivljenost glasnoće u toj točki jednaka nuli, drugim riječima, krivulja glasnoće u točki infleksije nije zakrivljena. Sukladno tome, polumjer zakrivljenosti u točki infleksije postaje beskonačno velik.



Slika 2.29. Zakrivljenost normirane glasnoće

Ovisno o obliku grafa polinoma $N_n(t_n)$ koji predstavlja aproksimaciju normirane glasnoće u normiranom vremenu, odnosno vrijednostima koeficijenata tog polinoma p_i , u normiranom vremenskom intervalu $[0,1]$ unutar kojeg se odvija proces zaustavljanja uređaja nalaze se dva lokalna ekstrema, kao što je prikazano na slici 2.29. No, u nekim slučajevima unutar spomenutog intervala postoji samo jedan ili čak nijedan lokalni ekstrem.

Počevši od točke infleksije te kretanjem u oba smjera normiranog vremena, zakrivljenost po svojem apsolutnom iznosu doseže svoju maksimalnu vrijednost, nakon koje asimptotski teži nuli kada normirano vrijeme teži k beskonačnoj vrijednosti.

S obzirom na to da je za konkretnu primjenu važno samo ono što se događa za vrijeme zaustavljanja uređaja, dakle, unutar intervala $[0,1]$ normiranog vremena, kao jedan od parametara kojim se ocjenjuje ponašanje glasnoće pri zaustavljanju nekog uređaja definiran je raspon unutar kojeg se mijenja zakrivljenost glasnoće upravo u tom intervalu. Taj se raspon računa kao razlika najveće i najmanje vrijednosti zakrivljenosti dobivenih unutar spomenutog intervala, uzimajući u obzir i njihov predznak:

$$\Delta c = \max(c(t_n)) - \min(c(t_n)) \quad , \quad t_n \in [0,1] \quad (2.70)$$

2.3.3. Odstupanje krivulje glasnoće od linearnosti

Jedan dio ispitivanja ponašanja, odnosno načina promjene glasnoće pri zaustavljanju nekog uređaja usmjeren je i na ispitivanje linearnosti pada glasnoće pri zaustavljanju, polazeći od pretpostavke da je linearni pad glasnoće zvuka nekog uređaja pri njegovom zaustavljanju poželjna osobina.

Ocjena linearnosti pada glasnoće definirana je upravo preko odstupanja stvarne promjene normirane glasnoće u normiranom vremenu od linearne. Linearna promjena glasnoće definirana je na dva načina: prvi način uzima u obzir pravac koji predstavlja najbolju aproksimaciju spomenute promjene dobivenu metodom najmanjih kvadrata, dok drugi način definira odstupanje stvarne normirane glasnoće od pravca koji predstavlja idealni linearni pad normirane glasnoće od vrijednosti 1 na početku intervala do njezine konačne vrijednosti na kraju intervala. U oba je slučaja odstupanje od linearnosti definirano veličinom površine koju zatvaraju krivulja normirane glasnoće i jedan od dva opisana pravca, s tim da je površina uzeta svojom apsolutnom vrijednosti.

Sâma površina aproksimirana je zbrojem površina elementarnih pravokutnika koje su za svaki vremenski trenutak definirane kao umnožak visine pravokutnika, predstavljene apsolutnom vrijednosti razlike stvarne normirane glasnoće u tom trenutku i njezine aproksimacije jednim od dva opisana pravca, i širine pravokutnika Δt_n koja je jednaka normiranom vremenskom razmaku dvije susjedne točke. Širina elementarnih pravokutnika ne mijenja se jer je inicijalni izračun glasnoće proveden u M vremenski jednako razmaknutih točaka. Dakle, može se napisati da je ukupna površina A jednaka:

$$A = \sum_{i=1}^M |N_n(t_n(i)) - N_{nf}(t_n(i))| \cdot \Delta t_n \quad (2.71)$$

gdje je $N_n(t_n(i))$ stvarna normirana glasnoća u i -tom normiranom vremenskom trenutku, a $N_{nf}(t_n(i))$ vrijednost njezine aproksimacije pravcem u tom istom trenutku.

Normirani vremenski razmak Δt_n između susjednih točaka stalan je za određeni uređaj, ali se mijenja od uređaja do uređaja jer se mijenja i broj točaka M u kojima je izvorni izračun glasnoće proveden. Naime, izvorni je izračun proveden uz stalni stvarni vremenski razmak Δt susjednih točaka koji je definiran postavkama određenog modela za računanje glasnoće pa broj točaka M u kojima je izračun za pojedini uređaj proveden ovisi o duljini vremena zaustavljanja konkretnog uređaja. Međutim, budući da je vrijeme u kojem se odvija

zaustavljanje normirano na interval $[0,1]$ za svaki uređaj iz prije opisanih razloga, normirano vrijeme, koje je konstantne duljine, opisano je drukčijim brojem točaka za svaki pojedini uređaj te se stoga i normirani vremenski razmak Δt_n razlikuje od uređaja do uređaja. Drugim riječima, M točaka dijeli ukupni normirani vremenski interval $[0,1]$ na $M-1$ podintervala širine Δt_n , pa se može napisati da je:

$$(M-1) \cdot \Delta t_n = 1 \Leftrightarrow \Delta t_n = \frac{1}{M-1} \quad (2.72)$$

Uvrštavanjem 2.72 u 2.71 dobivamo konačni izraz za ukupnu površinu A kao:

$$A = \frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M |N_n(t_n(i)) - N_{nf}(t_n(i))| \quad (2.73)$$

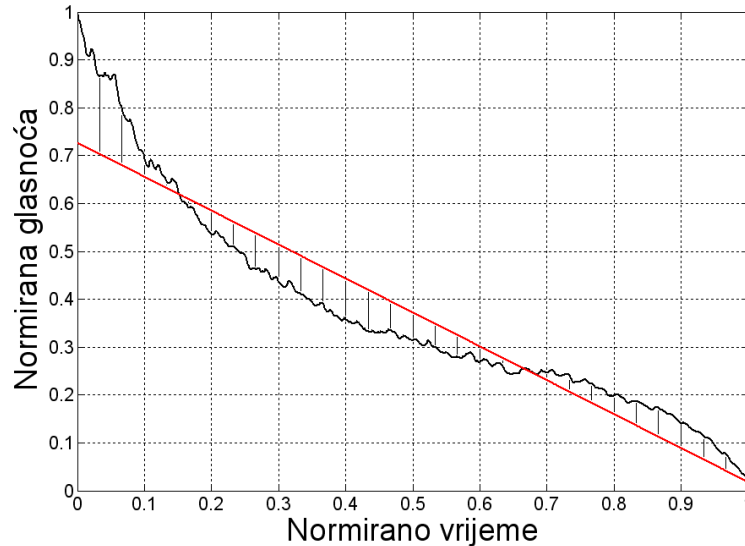
Ukoliko se želi izračunati odstupanje krivulje normirane glasnoće od pravca koji predstavlja najbolju aproksimaciju spomenute krivulje, onda aproksimacija $N_{nf}(t_n)$ ima oblik:

$$N_{nf}(t_n) = p_1 t_n + p_0 \quad (2.74)$$

gdje su koeficijenti p_1 i p_0 dobiveni metodom najmanjih kvadrata. U ovom se slučaju definira ukupna površina A_f kao mjera odstupanja krivulje normirane glasnoće od njezine najbolje aproksimacije i računa se kao:

$$A_f = \frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M |N_n(t_n(i)) - (p_1 t_n(i) + p_0)| \quad (2.75)$$

Upravo opisani postupak dobivanja ukupne površine A_f prikazan je na slici 2.30 na primjeru istog uređaja na kojem su pokazani i načini dobivanja ostalih već opisanih parametara.



Slika 2.30. Odstupanje krivulje normirane glasnoće od njezine najbolje aproksimacije pravcem

Za izračun odstupanja krivulje normirane glasnoće od pravca koji predstavlja idealno linearni pad normirane glasnoće u vremenu potrebno je odrediti jednadžbu toga pravca iz koordinata njegove početne i krajnje točke. U stvarnom vremenu i uz stvarnu glasnoću, koordinate početne točke pravca T_1 i njegove krajnje točke T_2 glase:

$$T_1(0, N_0), T_2(T_s, N(T_s)) \quad (2.76)$$

Uzevši u obzir da je vrijeme normirano na vrijeme zaustavljanja T_s , a glasnoća na svoju početnu i najveću vrijednost N_0 , koordinate točaka sada glase:

$$T_1(0,1), T_2(1, N_n(1)) \quad (2.77)$$

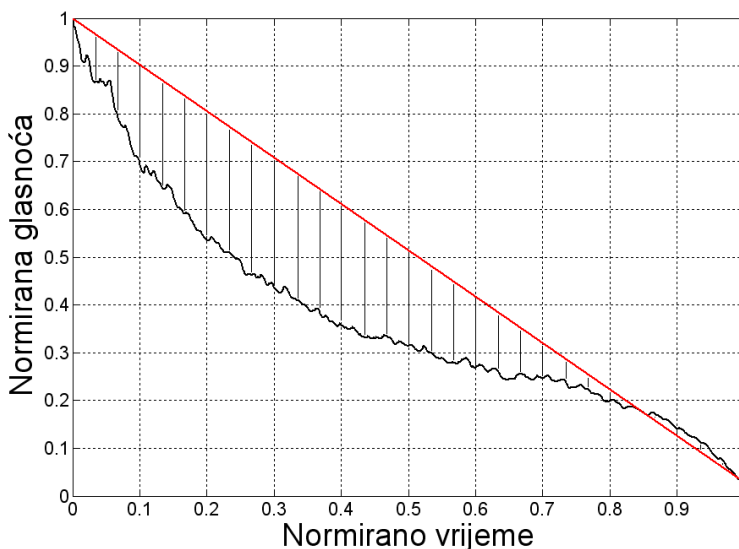
Jednadžba pravca zadanog ovim dvjema točkama, koji predstavlja pravac idealnog linearnog pada normirane glasnoće između njezine početne i krajnje vrijednosti, dana je slijedećim izrazom:

$$N_{nf}(t_n) = (N_n(1) - 1) \cdot t_n + 1 \quad (2.78)$$

Ukupna površina A_t kao mjera odstupanja krivulje normirane glasnoće od pravca koji predstavlja idealni linearni pad iste računa se kao:

$$A_t = \frac{1}{M-1} \sum_{i=1}^M |N_n(t_n(i)) - ((N_n(1)-1) \cdot t_n(i) + 1)| \quad (2.79)$$

Opisani postupak dobivanja ukupne površine A_t prikazan je na slici 2.31 na primjeru istog uređaja na kojem su pokazani i načini dobivanja ostalih već opisanih parametara.



Slika 2.31. Odstupanje krivulje normirane glasnoće od njezinog idealno linearnog pada

2.3.4. Kolebanje glasnoće

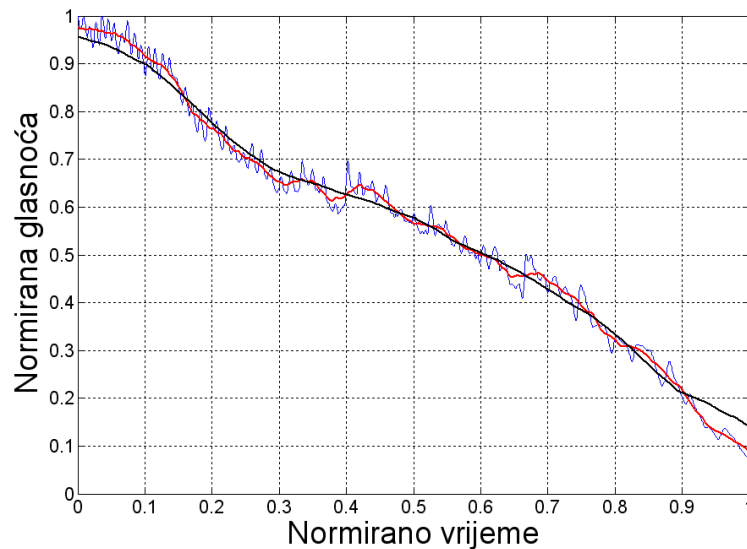
Jedna od pojava koju je potrebno opisati jest kolebanje glasnoće prilikom zaustavljanja uređaja. Naime, trenutna vrijednost vremenski promjenjive glasnoće nekog realnog zvučnog izvora uvijek oscilira oko njezine usrednjene vrijednosti. Osnovna pretpostavka od koje se polazi jest da na doživljaj zvuka nekog uređaja, kao i svojstava sâmog uređaja, jako utječe izraženost, odnosno čujnost takvih oscilacija. Usrednjena se vrijednost za svaku vremensku točku obično računa kao prosječna vrijednost glasnoće u vremenskom intervalu koji obuhvaća ne samo tu točku, nego i određen broj točaka k prije i poslije nje, s tim da se točka za koju se računa usrednjena vrijednost glasnoće obično nalazi u sredini spomenutog vremenskog intervala.

U našem slučaju, za daljnja razmatranja važna je usrednjena vrijednost normirane glasnoće koja se za i -tu vremensku točku može izraziti kao:

$$\overline{N_n(t_n(i))} = \frac{\sum_{j=i-k}^{i+k} N_n(t_n(j))}{2k+1} \quad (2.80)$$

i predstavlja tzv. klizajuću prosječnu vrijednost glasnoće. Broj vremenskih točaka koje se uzimaju u obzir pri ovakvom izračunu ovisi o duljini intervala na kojem se provodi usrednjavanje. U ovom konkretnom slučaju odabrane su dvije vrijednosti duljine intervala usrednjavanja, i to kraći duljine 100 ms te dulji duljine 500 ms. Kraći interval usrednjavanja omogućava predstavljanje brzih promjena glasnoće, ali nije pogodan za kvantifikaciju sporih promjena jer vrijednost glasnoće usrednjena na intervalu ove duljine još uvijek vrlo dobro slijedi takve promjene pa je zbog toga provedeno usrednjavanje glasnoće i na duljem vremenskom intervalu.

Na slici 2.32 pokazan je primjer usrednjavanja normirane glasnoće primjenom spomenute dvije duljine intervala usrednjavanja. Vidljivo je da usrednjena vrijednost dobivena uz interval usrednjavanja od 100 ms, na slici iscrtana crvenom linijom, vrlo dobro slijedi grube, odnosno spore promjene glasnoće pa je stoga pogodna samo za vrednovanje brzih promjena, kako je već rečeno. S druge strane, usrednjena vrijednost normirane glasnoće dobivena uz interval usrednjavanja od 500 ms, na slici iscrtana crnom bojom, pogodna je za vrednovanje sporijih promjena glasnoće koje, upravo zbog duljeg vremena usrednjavanja, ne može slijediti.



Slika 2.32. Primjer normirane glasnoće i njezine usrednjene vrijednosti dobivene na vremenskim intervalima različite duljine

Sâmo kolebanje glasnoće definirano je kao apsolutna vrijednost odstupanja stvarne normirane glasnoće $N_n(t_n)$ i njezine usrednjene vrijednosti $\overline{N_n(t_n)}$, prikazana u odnosu na usrednjenu vrijednost, prema izrazu:

$$\Delta N_{\text{rel}}(t_n) = \frac{|N_n(t_n) - \overline{N_n(t_n)}|}{\overline{N_n(t_n)}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.81)$$

te se izražava kao postotak usrednjene vrijednosti normirane glasnoće za svaku vremensku točku. Ovako definirana relativizacija opisanog odstupanja provedena je zbog toga što apsolutna vrijednost odstupanja sâma po sebi ne govori mnogo ako nije poznata vrijednost glasnoće na kojoj se spomenuto odstupanje događa. Nadalje, relativizacija poništava učinke normiranja glasnoće, što znači da se isti rezultati dobivaju i sa stvarnim vrijednostima trenutne i normirane glasnoće. Konačno, pri izračunu kolebanja glasnoće uzeta je apsolutna vrijednost odstupanja trenutne od usrednjene normirane glasnoće umjesto stvarne vrijednosti tog odstupanja jer bi primjenom stvarne vrijednosti relativno odstupanje uvijek osciliralo oko nule, kojoj bi tada težila i njegova srednja vrijednost, odnosno medijan.

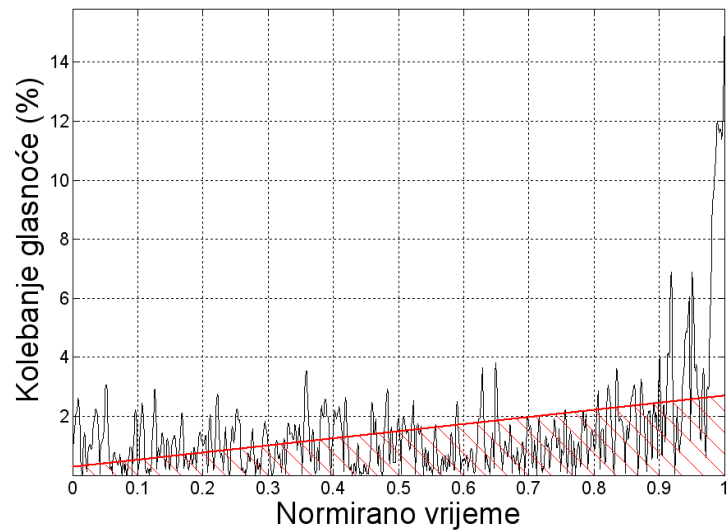
U prvi skup parametara kojima se može opisati ponašanje kolebanja glasnoće uvršteni su koeficijent smjera p_1 i odsječak na osi ordinata p_0 pravca koji predstavlja najbolju aproksimaciju kolebanja glasnoće definiranog na gore opisani način, dobivenog metodom najmanjih kvadrata. Koeficijent p_1 otkriva trend promjene veličine kolebanja glasnoće s vremenom. Treći parametar uvršten u ovaj skup jest ukupna površina A_{Nrel} koju opisani pravac zatvara s osi apscisa kao mjera ukupne veličine kolebanja glasnoće na cijelom intervalu zaustavljanja. Može se pokazati da je ta površina upravo jednaka vrijednosti površine ispod stvarne krivulje kolebanja glasnoće. Ako se jednadžba pravca koji predstavlja najbolju aproksimaciju kolebanja glasnoće može napisati kao:

$$\Delta N_{\text{rel}}(t_n) \approx p_1 t_n + p_0 \quad (2.82)$$

onda se gore opisana ukupna površina A_{Nrel} može izračunati prema slijedećoj formuli:

$$A_{\text{Nrel}} = \frac{p_1}{2} + p_0 \quad (2.83)$$

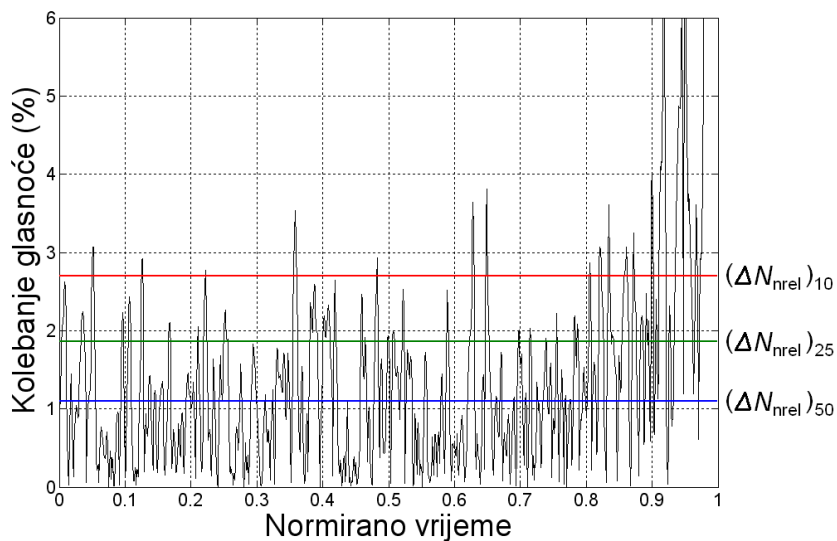
Na slici 2.33 pokazan je primjer izračunatog kolebanja glasnoće u ovisnosti o vremenu, njegove aproksimacije pravcem te ukupna površina ispod pravca.



Slika 2.33. Kolebanje glasnoće, njegova aproksimacija pravcem i ukupna površina ispod pravca

U dodatnoj analizi ponašanja kolebanja glasnoće tijekom zaustavljanja provedena je sumarna statistička analiza kolebanja glasnoće u okviru koje su definirane vrijednosti kolebanja glasnoće oblika $(\Delta N_{\text{rel}})_x$ koje se temelje na percentilima kolebanja, ali, za razliku od njih, u ovom slučaju označavaju vrijednosti kolebanja glasnoće koje su premašene u x posto vremena pri zaustavljanju.

Primjer sumarne statističke analize kolebanja glasnoće pokazan je na slici 2.34.



Slika 2.34. Kolebanje glasnoće i parametri $(\Delta N_{\text{rel}})_{10}$, $(\Delta N_{\text{rel}})_{25}$ i $(\Delta N_{\text{rel}})_{50}$

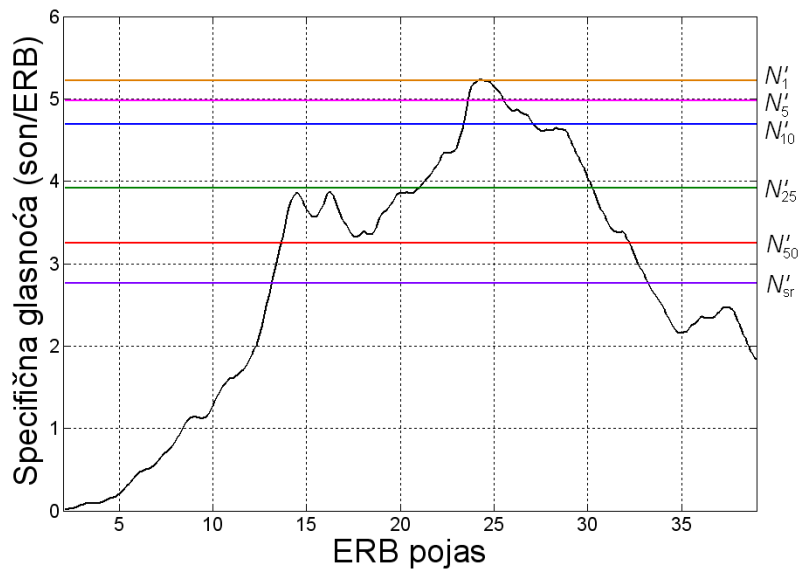
Pri provedbi sumarne statističke analize kolebanja glasnoće parametri oblika $(\Delta N_{\text{rel}})_x$ inicijalno su izračunati za $x = 1, 5, 10, 25, 50, 75, 90, 95$ i 99 posto vremena. No, nakon dodatnih analiza zaključeno je da su jedino vrijednosti kolebanja glasnoće premašene u $x = 10, 25, 50$ i 75 posto vremena relevantne i potencijalno korisne za daljnju uporabu.

2.3.5. Sumarna statistička analiza spektrograma glasnoće

Spektrogram glasnoće predstavlja svojevrsan pomak u objektivnoj analizi zvukova uređaja koje oni proizvode, i to ne samo pri zaustavljanju, nego i u ostalim radnim fazama. Podaci koje takav spektrogram sadrži mogu biti tumačeni na dva načina, drugim riječima, može se reći da spektrogram glasnoće sadrži informaciju o vremenskoj promjeni specifične glasnoće u svakom od kritičnih pojaseva, ili da je njime izražena promjena oblika krivulje specifične glasnoće u vremenu. Jasno je da u odnosu na ukupnu glasnoću njezin spektrogram predstavlja složeniji skup podataka jer se vrijednosti mijenjaju ne samo u vremenu, već i po frekvenciji.

Statistička analiza spektrograma glasnoće počiva na istim osnovama kao i statistička analiza kolebanja glasnoće opisana gore i ima isti cilj, a to je dobivanje skupa parametara koji će sadržavati informacije o obliku i ponašanju krivulje specifične glasnoće. S obzirom da se radi o analizi zvukova uređaja koje ovi proizvode pri zaustavljanju, ni ova analiza nije iznimka te je i sada potrebno razmotriti promjenu spomenutih parametara u vremenu.

Kako je već rečeno, spektrogram glasnoće nije ništa drugo nego skup krivulja specifične glasnoće dobivenih za svaku vremensku točku unutar intervala zaustavljanja uređaja. Za svaku od tih krivulja u početnoj se fazi analize definiraju i računaju parametri oblika N'_x koji označavaju vrijednosti specifične glasnoće koje su premašene u x posto frekvencijskih točaka u kojima je specifična glasnoća izračunata, pri čemu x poprima vrijednosti $1, 5, 10, 25$ i 50 . Primjer krivulje specifične glasnoće dobivene Mooreovim i Glasbergovim modelom pokazan je na slici 2.35. Na slici su naznačene i vrijednosti upravo opisanih parametara oblika N'_x . Dodatno su za svaku vremensku točku utvrđene vrijednosti najveće specifične glasnoće N'_{max} , srednje vrijednosti specifične glasnoće N'_{sr} te ukupne glasnoće N kao zbroja vrijednosti specifične glasnoće po svim kritičnim ili ERB pojasevima, ovisno o upotrijebljenom modelu glasnoće. Srednja vrijednost specifične glasnoće N'_{sr} također je naznačena na slici 2.35.



Slika 2.35. Statistička analiza specifične glasnoće

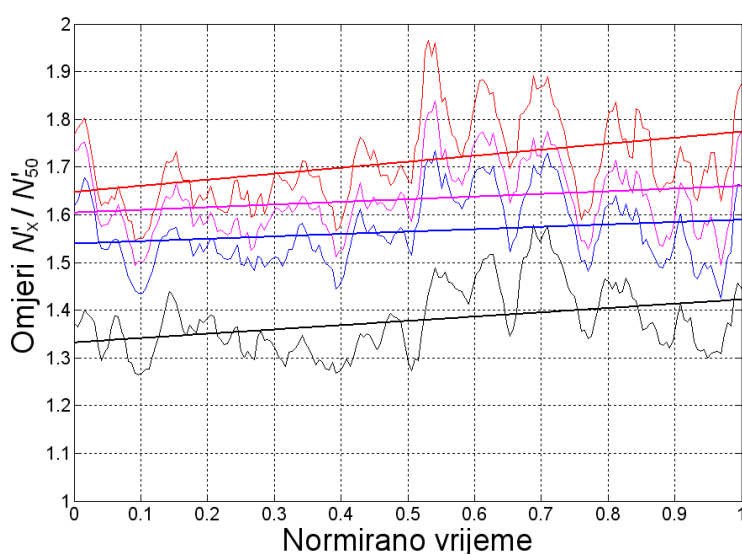
I ova je analiza provedena s ciljem izravne usporedbe ponašanja specifične glasnoće u ovisnosti o vremenu za uređaje iste vrste, neovisno o stvarnoj vrijednosti glasnoće zvuka pojedinog uređaja. Međutim, za razliku od ukupne vrijednosti glasnoće, koju je bilo moguće normirati na njezinu početnu i najveću vrijednost i time riješiti spomenuti problem, kako je već opisano, ovdje je primijenjena drukčija metoda. Konkretno, umjesto samih parametara oblika N'_x te najveće i srednje vrijednosti specifične glasnoće N'_{\max} i N'_{sr} , kao konačni parametri kojima se opisuje ponašanje, odnosno oblik krivulje specifične glasnoće definirani su njihovi međusobni omjeri. Razlog ovakvog načina tumačenja dobivenih podataka jest taj da spomenuti omjeri ne ovise o tome na koju je veličinu normirana specifična glasnoća, pa čak ni o tome je li uopće normirana ili nije. Stoga specifičnu glasnoću nije ni potrebno normirati da bi ovu analizu bilo moguće provesti.

Omjeri koji su pri ovoj analizi uzeti u obzir su, prije svega, omjeri oblika N'_x/N'_{50} , dakle, relevantni parametri oblika N'_x iskazani u odnosu na vrijednost medijana specifične glasnoće, pri čemu je $x = 1, 5, 10$ i 25 . Isti su parametri, uključujući i medijan specifične glasnoće, iskazani u odnosu na njezinu srednju vrijednost kao omjeri oblika N'_x/N'_{sr} . Konačno, definirani su i postotni omjeri ovih parametara u odnosu na ukupnu vrijednost glasnoće kao $N'_x/N \cdot 100$, kao i postotni udio najveće vrijednosti specifične glasnoće u ukupnoj glasnoći kao $N'_{\max}/N \cdot 100$. Svi su ovi omjeri promatrani u ovisnosti o vremenu te su, radi dobivanja konačnih jednobrojnih parametara, izvršene aproksimacije dobivenih omjera pravcima oblika:

$$\frac{N'_x}{N'_y}(t_n) \approx p_1 \cdot t_n + p_0 \quad (2.84)$$

Kao konačni jednobrojni parametri uzeti su koeficijenti p_1 i p_0 dobiveni opisanim aproksimacijama. Važno je spomenuti da je vrijeme i u ovom slučaju normirano da bi promjene ovako definiranih omjera u ovisnosti o vremenu bile izravno usporedive između pojedinih uređaja.

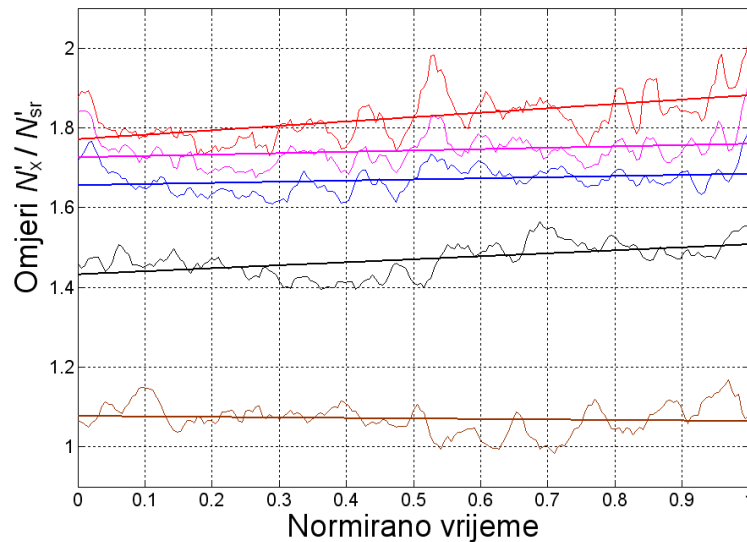
Primjer vremenske promjene omjera oblika N'_x/N'_{50} i aproksimacije tih omjera pravicima pokazan je na slici 2.36.



Slika 2.36. Promjena omjera parametara N'_1 , N'_5 , N'_{10} i N'_{25} i medijana N'_{50} u ovisnosti o vremenu

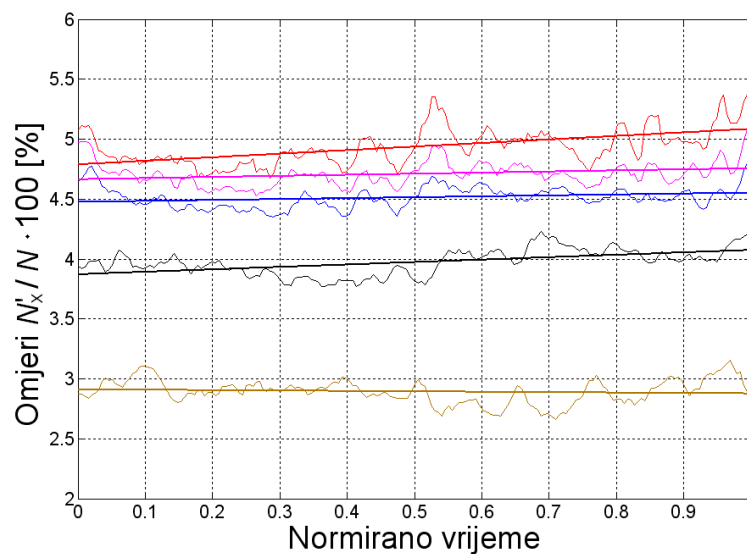
Najviše vrijednosti, dakako, poprima omjer N'_1/N'_{50} jer i sâm parametar N'_1 poprima najviše vrijednosti od svih spomenutih parametara. Za njim slijede redom omjeri N'_5/N'_{50} , N'_{10}/N'_{50} i N'_{25}/N'_{50} .

Vremenska promjena omjera oblika N'_x/N'_{sr} , pri čemu je $x = 1, 5, 10, 25$ i 50 , prikazana je na slici 2.37.



Slika 2.37. Promjena omjera parametara N'_1 , N'_5 , N'_{10} , N'_{25} i N'_{50} i srednje vrijednosti specifične glasnoće N'_{sr} u ovisnosti o vremenu

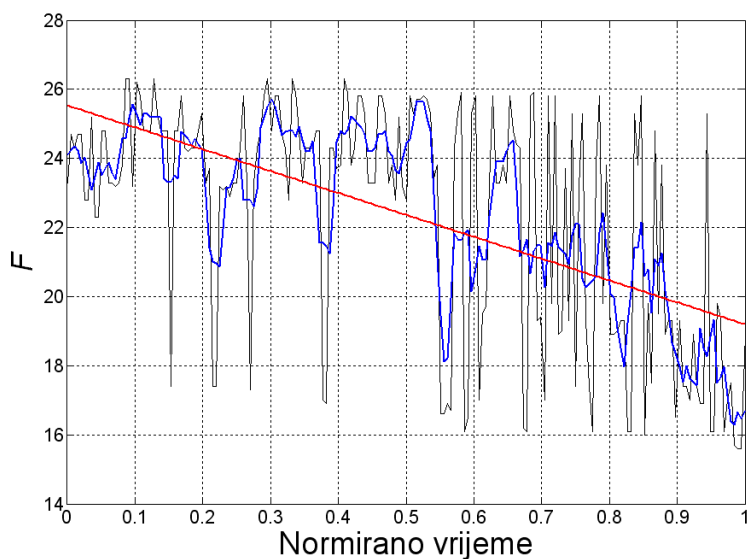
Konačno, na slici 2.38 pokazan je primjer vremenske promjene postotnih omjera parametara N'_1 , N'_5 , N'_{10} , N'_{25} i N'_{50} i ukupne glasnoće N .



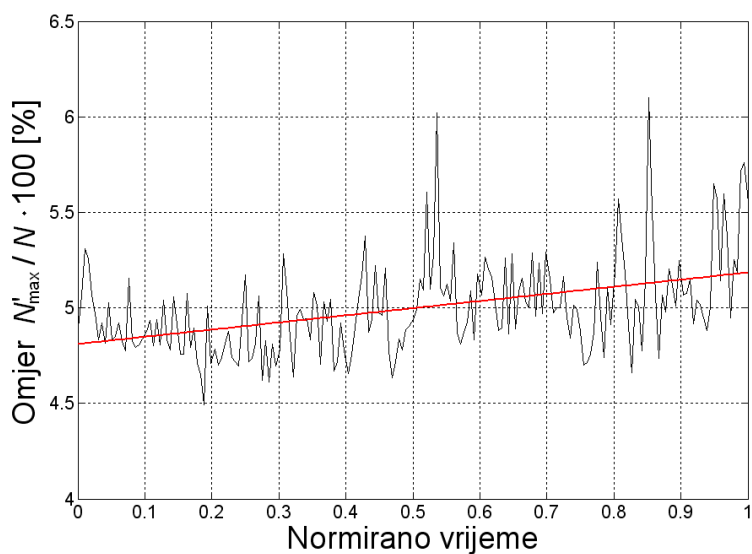
Slika 2.38. Vremenska promjena postotnih omjera parametara N'_1 , N'_5 , N'_{10} , N'_{25} i N'_{50} i ukupne vrijednosti glasnoće N

Osim upravo opisanih omjera, pri ovoj analizi u obzir je uzeta i vremenska promjena frekvencijskog položaja F najveće vrijednosti specifične glasnoće N'_{max} te njezinog postotnog udjela u ukupnoj glasnoći N . I ove su veličine aproksimirane pravcima čiji

koeficijenti predstavljaju jednobrojne parametre kojima se opisuju gore definirane veličine. Primjer opisanih parametara pokazan je na slikama 2.39 i 2.40.



Slika 2.39. Vremenska promjena frekvencijskog položaja maksimuma specifične glasnoće (crno), njezina usrednjena vrijednost (plavo) i aproksimacija pravcem (crveno)



Slika 2.40. Vremenska promjena postotnog udjela maksimuma specifične glasnoće N'_{\max} u ukupnoj glasnoći N i njezina aproksimacija pravcem

S obzirom na to da su za izračun glasnoće korištena dva modela, Zwickerov te Mooreov i Glasbergov, frekvencijski se položaj F sukladno tome izražava u Barkovima ili rednim brojevima ERB pojaseva. Na slici 2.39 pokazan je primjer izveden iz izračuna glasnoće

pomoću Mooreovog i Glasbergovog modela koji pretvara stvarne frekvencije u njihove ERB ekvivalente.

Osim sâme vremenske promjene frekvencijskog položaja maksimuma specifične glasnoće, u analizi je ispitano i kolebanje položaja tog maksimuma u ovisnosti o vremenu, i to na dva načina. Prvim se načinom kolebanje frekvencijskog položaja F maksimuma specifične glasnoće definira kao odstupanje stvarnog položaja tog maksimuma od vrijednosti tog položaja usrednjene na vremenskom intervalu od 100 ms. U definiciji kolebanja i sada je upotrijebljena apsolutna vrijednost odstupanja, iz razloga već opisanih pri definiranju kolebanja ukupne glasnoće, no ona nije prikazana relativno, u odnosu na usrednjenu vrijednost već je zadržana vrijednost odstupanja u svojem stvarnom iznosu. Ovakvom se definicijom kolebanja položaja maksimuma specifične glasnoće može napisati da je ono jednako:

$$\Delta F_{sr}(t_n) = \left| F(t_n) - \overline{F(t_n)} \right| \quad (2.85)$$

Ovako definirano kolebanje aproksimirano je pravcem oblika $y = p_1 t_n + p_0$ čiji su koeficijenti uzeti kao jednobrojni parametri kojima se opisuje vremenska promjena kolebanja.

Drugim načinom kolebanje frekvencijskog položaja F maksimuma specifične glasnoće definira se za svaku vremensku točku kao apsolutna vrijednost odstupanja stvarnog položaja tog maksimuma od vrijednosti tog položaja aproksimirane pravcem. Ako se jednadžba tog pravca može izraziti kao:

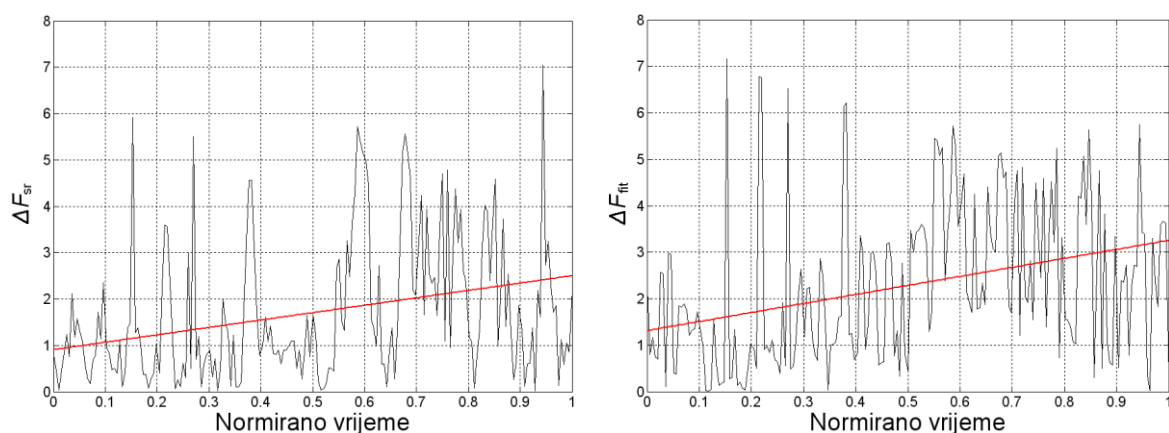
$$F_{fit}(t_n) = F_1 \cdot t_n + F_0 \quad (2.86)$$

onda se kolebanje može izraziti kao:

$$\Delta F_{fit}(t_n) = \left| F(t_n) - F_{fit}(t_n) \right| = \left| F(t_n) - F_1 \cdot t_n - F_0 \right| \quad (2.87)$$

I u ovom je slučaju kolebanje aproksimirano pravcem oblika $y = p_1 t_n + p_0$ čiji su koeficijenti uzeti kao jednobrojni parametri kojima se opisuje vremenska promjena kolebanja.

Na slici 2.41 prikazani su primjeri vremenske promjene kolebanja frekvencijskog položaja maksimuma specifične glasnoće ΔF_{sr} i ΔF_{fit} dobiveni na opisani način.



Slika 2.41. Kolebanja maksimuma specifične glasnoće ΔF_{fit} (lijevo) i ΔF_{sr} (desno) i njihove aproksimacije pravicima

2.3.6. Promjena ostalih parametara u vremenu

Osim glasnoće, u analizi zvuka koji uređaji proizvode pri zaustavljanju koriste se i drugi parametri, konkretno oštrina, grubost, tonalnost i jačina kolebanja, pri čemu se definira brzina promjene tih parametara u vremenu i njihove vrijednosti na početku intervala zaustavljanja. Kao i kod glasnoće, parametar općenito označen s X normiran je na svoju početnu vrijednost X_0 , koju ima u trenutku početka zaustavljanja, a vremenski je interval također normiran na duljinu vremena zaustavljanja T_s , pa se normirano vrijeme t_n i normirani oblik parametra X_n može izraziti kao:

$$t_n = \frac{t}{T_s}, \quad X_n = \frac{X}{X_0} \quad (2.88), (2.89)$$

Pri tome se normirano vrijeme mijenja u intervalu $[0,1]$, ali, za razliku od glasnoće, početna vrijednost X_0 parametra X ne mora biti i njegova najveća vrijednost pa se normirani parametar X_n kreće u rasponu od nule do neke maksimalne vrijednosti koja može biti i mnogo veća od 1.

Promjene vrijednosti spomenutih parametara u vremenu analizirane su na dva načina, pri čemu je u oba slučaja cilj dobiti jednobrojnu vrijednost kojom će biti moguće opisati brzinu promjene tih parametara u vremenu. Prvim načinom promatra se linearna aproksimacija ovisnosti normiranog parametra X_n o normiranom vremenu t_n , dobivena metodom najmanjih kvadrata, čiji je oblik prikazan izrazom:

$$X_n(t_n) = p_{n1} * t_n + p_{n0} \quad (2.90)$$

S obzirom na to da su ovakve aproksimacije normiranih parametara načinjene na normiranom vremenskom intervalu, moguće je načiniti izravnu usporedbu koeficijenata pravaca tih aproksimacija p_{n1} kao jednobrojnih parametara mjere brzine promjene normiranog parametra X_n u normiranom vremenu.

Drugim načinom nastoji se dobiti mjera stvarne promjene nekog parametra X u stvarnom vremenu t . I u ovom se slučaju traži linearna aproksimacija ovisnosti tog parametra, ovaj put o stvarnom vremenu, kako je već rečeno. Kao rezultat dobiva se pravac oblika:

$$X(t) = p_1 * t + p_0 \quad (2.91)$$

I u ovom se slučaju kao jednobrojni parametar uzima koeficijent tog pravca p_1 , ovaj put kao mjera brzine promjene stvarnog parametra X u stvarnom vremenu t . Međutim, usporedba dobivenih koeficijenata pravaca nema sasvim isto značenje kao već spomenuta slična usporedba načinjena za aproksimacije normiranih parametara u normiranom vremenu. Razlog tome je što će aproksimacija ponašanja stvarnih vrijednosti parametara u stvarnom vremenu ovisiti i o njihovoj početnoj vrijednosti X_0 i o vremenu zaustavljanja T_s , za razliku od aproksimacije normiranih parametara koja nije ovisna o tim vrijednostima. Unatoč tome, primijenjena su oba opisana načina analize u želji da se što detaljnije opiše ponašanje tih parametara pri zaustavljanju.

3. Subjektivni parametri zvučne slike

Subjektivna ispitivanja smatraju se temeljnim dijelom procesa ocjene kvalitete zvuka jer je čovjek ipak konačni sudac te se njegov sud smatra jedinim relevantnim čimbenikom za dobivanje konačne ocjene kvalitete zvuka na temelju koje se onda može provesti akustička karakterizacija uređaja istog tipa.

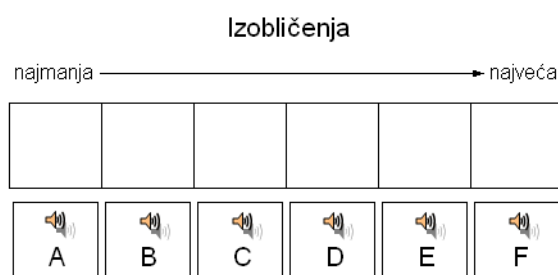
Opisu zvučne slike pomoću subjektivnih parametara potrebno je pristupiti imajući u vidu njezinu višedimenzionalnost. To znači da je nužno definirati veći broj subjektivnih parametara kojima je moguće učinkovito opisati i definirati zvučnu sliku određenog zvuka na jedinstven i nedvosmislen način. Odabir konkretnih parametara specifičan je za određeni tip ili vrstu uređaja i predstavlja zaseban zadatak o čijem uspješnom rješavanju uvelike ovisi i uspjeh cjelokupnog procesa ocjene kvalitete zvuka.

3.1. Metode ocjene subjektivnih parametara

U psihoakustičkim ispitivanjima koriste se različite metode ocjene, odnosno evaluacije subjektivnih parametara. Svaka od metoda ima svoje prednosti i mane, ovisno o cilju istraživanja koji se želi postići. U nastavku je opisano nekoliko metoda koje se najčešće koriste za rješavanje specifičnog problema ocjene kvalitete zvuka, a time i akustičke karakterizacije. Neke od metoda, primjerice, usporedba parova, rangiranje slučajnim pristupom ili semantički diferencijal više su orijentirane na kvalitativni opis problema kojem je cilj utvrditi zvuči li neki uređaj bolje ili lošije od drugog ili prenosi li određeni zvuk željenu informaciju do krajnjeg korisnika i u kojoj mjeri. Ukoliko problem zahtijeva kvantitativni opis, moguće je upotrijebiti metode kao što su stupnjevano ocjenjivanje ili procjena magnitude, kojima se dobivaju podaci o tome koliko se kvaliteta zvuka razlikuje od uređaja do uređaja, što je upravo i krajnji cilj pri provedbi akustičke karakterizacije. Svim nabrojanim metodama zajedničko je da ispitanik nema kontrolu nad ispitnim signalom već ga ocjenjuje onakvog kakav on jest.

Usporedba parova je najjednostavnija kvalitativna metoda koja se koristi pri ocjeni kvalitete zvuka. U ovom se slučaju ispitaniku prezentiraju dva ispitna signala ili uzorka zvuka, a njegov je zadatak ocijeniti koji od njih je bolji, a koji lošiji prema određenom kriteriju. Ova metoda dozvoljava ispitaniku da ispitne signale sluša koliko god puta želi pri formiranju njegovog konačnog suda. Ukoliko se ispitivanje proširi na više od dva uzorka

zvuka, tada govorimo o metodi rangiranja slučajnim pristupom, pri kojoj vrijede ista pravila. Ispitanik i dalje može pristupiti svakom uzorku zvuka onoliko puta koliko želi i kad god to želi, a krajnji cilj je poredati uzorke zvuka od najboljeg do najlošijeg prema kriteriju po kojem se ocjenjivanje provodi. Primjerice, nekom glazbenom isječku mogu se po želji dodavati harmonička izobličenja u određenom iznosu i zatim zatražiti od ispitanika da isječke poredaju od najmanje do najviše izobličenog. Primjer tako koncipiranog testa pokazan je na slici 3.1.



Slika 3.1. Primjer rangiranja slučajnim pristupom ovisno o iznosu izobličenja

Druga metoda koja se koristi za kvalitativni opis nekog zvuka jest metoda semantičkog diferencijala, u kojoj se opis višedimenzionalne zvučne slike provodi definiranjem parova pridjeva suprotnog značenja od kojih svaki par opisuje određenu dimenziju zvučne slike. Ocjene koje daje ispitanik nalaze se između dviju krajnosti određenih upravo spomenutim parovima pridjeva, pri čemu se raspon tih ocjena može definirati diskretnim brojem vrijednosti te su i dobivene ocjene u tom slučaju diskretne i lako čitljive, ali i kontinuiranim pravcem koji ispitanik mora označiti na određenom mjestu, a u tom je slučaju nešto teže izravno iščitati unesene ocjene iz takvog testa. Primjer semantičkog diferencijala s diskretnim ocjenama upotrijebljen u testovima korištenim u subjektivnim ispitivanjima provedenim za potrebe ovog istraživanja pokazan je na slici 3.2.

Potencijalni problemi koji se mogu pojaviti pri provedbi ove metode odnose se prije svega na jasnoću i nedvosmislenost definiranih parova pridjeva koji opisuju pojedine dimenzije zvučne slike. Naime, uvijek postoji mogućnost da određena dimenzija zvučne slike definirana parovima pridjeva neće imati isto značenje za sve ispitanike te da ispitanici možda neće prihvatiti određeni par pridjeva kao riječi suprotnog značenja. Zbog toga je potrebno dati jasna objašnjenja o sadržaju testa prije provedbe samog ispitivanja i time ukloniti sve eventualne nejasnoće. Ukoliko nije moguće nedvosmisleno definirati par

pridjeva suprotnog značenja, bolji izbor od semantičkog diferencijala jest metoda stupnjevanog ocjenjivanja.

opasan	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	siguran
robustan	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	krhak
jeftin	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	skup
snažan	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	slab
kvalitetan	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nekvalitetan
neispravan	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ispravan

Slika 3.2. Semantički diferencijal upotrijebljen u ovom istraživanju za ocjenu svojstava sâmog uređaja

Mogući problemi mogu se pojaviti i pri sâmoj provedbi ispitivanja jer neće svi ispitanici na jednak način iskoristiti ponuđeni raspon mogućih ocjena pa će tako neki dosljedno davati negativnije ili, pak, pozitivnije ocjene od ostalih, što je posljedica psihofizičkog stanja i drugih čimbenika. Neki ispitanici koristit će cijeli ponuđeni raspon ocjena, drugi će, pak, biti skloniji grupirati svoje ocjene u užem području dajući isključivo umjerene odgovore te izbjegavajući ekstremne ocjene, dok će treći gotovo uvijek koristiti baš ekstremne ocjene. Ovu grupu problema nije moguće riješiti izravnim davanjem uputa ispitanicima jer bi takav čin predstavljao neželjeno upletanje u proces ocjenjivanja. No, ove probleme moguće je riješiti u procesu statističke analize rezultata ispitivanja o čemu će kasnije biti više rečeno. Zatim, neki ispitanici bit će skloni davanju ocjena koje se uvijek nalaze na istoj strani ljestvice, bez obzira je li to opravdano ili nije. Ovaj problem može se riješiti naizmjeničnim postavljanjem pridjeva koji označavaju pozitivne i negativne krajnosti pojedinih parametara na istu stranu ljestvice. Opisano rješenje vidljivo je na primjeru na slici 3.2, gdje su na istoj strani ljestvice smješteni pozitivni pridjevi robustan, snažan, kvalitetan s negativnima opasan, jeftin i neispravan.

Treća metoda, metoda stupnjevanog ocjenjivanja može poslužiti za subjektivno ocjenjivanje jednog ili čitave grupe parametara, pogotovo u slučaju kada nije moguće jednoznačno definirati obje krajnosti nekog parametra kao u metodi semantičkog diferencijala. Ocjene koje ispitanici daju na testu imaju diskretan karakter, drugim riječima, imaju ograničen broj stupnjeva, po čemu je metoda i dobila ime. Tradicionalni testovi najčešće imaju ljestvice s pet ili sedam stupnjeva i u tom se slučaju svakome stupnju može pridijeliti određeno verbalno značenje. U novije vrijeme ljestvice mogu imati i devet ili više stupnjeva, a u specifičnim se slučajevima pojedini stupnjevi ponekad dijele u veći broj podstupnjeva [71]. Nekoliko varijanti ovakvog načina ocjenjivanja pokazano je na slici 3.3. Sasvim lijevo prikazana je standardna 5-stupanjska ljestvica. Ljestvica sa sedam stupnjeva proširena je u odnosu na standardnu s dvije dodatne ocjene, čime je postignuta finija razlučivost pri sâmom procesu ocjenjivanja. Ovim dvjema ljestvicama zajedničko je to što je veličina, odnosno parametar koji se ocjenjuje jednoznačno definiran objema krajnostima, drugim riječima, parom pridjeva suprotnog značenja te u ovom slučaju ova metoda iskazuje veliku sličnost s metodom semantičkog diferencijala. No, ukoliko nije moguće nedvosmisleno definirati obje krajnosti neke veličine, moguće je upotrijebiti i modificiranu ljestvicu kojom će se veličina nekog subjektivnog parametra ocijeniti ovisno o tome u kojoj mjeri je neko svojstvo, predstavljeno tim parametrom, sadržano u uzorku zvuka, prema subjektivnoj procjeni ispitanika. Primjer takve modificirane ljestvice upotrijebljen u ranijim istraživanjima [18] pokazan je na slici 3.3 u središnjem stupcu. Za ljestvice koje imaju više od sedam stupnjeva teško je verbalno opisati sve stupnjeve koje pojedina ocjena može poprimiti. Stoga se pri ocjenjivanju može primijeniti ljestvica kojoj su označene samo krajnosti kao što su, primjerice, 'nimalo' i 'izrazito', pri čemu 'nimalo' označava da uzorak zvuka uopće nema svojstvo opisano parametrom koji se ocjenjuje, dok 'izrazito' pokazuje da je to svojstvo prisutno u velikoj mjeri. Ovakav način ocjenjivanja primijenjen je u subjektivnim ispitivanjima provedenim za potrebe ove disertacije, kao što je pokazano na slici 3.4. Konačno, u nekim se slučajevima svaki stupanj standardne 5-stupanjske ljestvice dijeli na određen broj podstupnjeva, čime se ukupan broj vrijednosti koje pojedina ocjena može poprimiti penje na 50 ili više.

		nimalo	nimalo	nečujno
vrlo tiho	vrlo loše	vrlo malo	.	0
tiho	loše	malo	.	.
	pomalo loše		.	.
ni tiho ni glasno	ni loše ni dobro	umjereno	.	25
	pomalo dobro		.	.
glasno	dobro	jako	.	.
vrlo glasno	vrlo dobro	vrlo jako	.	50
		nepodnošljivo	izrazito	preglasno

Slika 3.3. Različiti načini stupnjevanog ocjenjivanja (slijeva nadesno): standardna 5-stupanjska i 7-stupanjska ljestvica, modificirana 7-stupanjska ljestvica, ljestvica s 9 ili više stupnjeva određena samo krajnjim točkama i ljestvica s većim brojem podstupnjeva

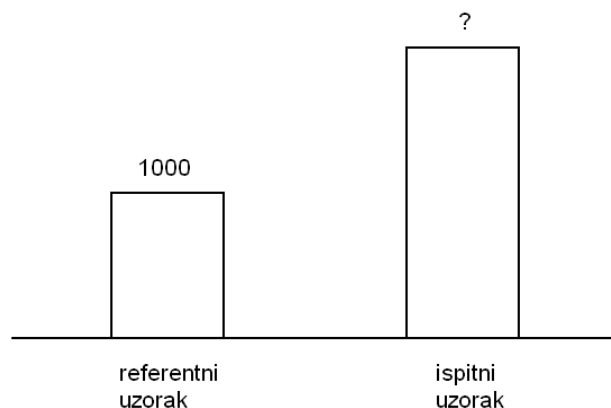
neugodan nimalo izrazito

Slika 3.4. Metoda stupnjevanog ocjenjivanja primijenjena pri provedbi subjektivnih ispitivanja

Problemi koji se mogu pojaviti pri provedbi ove metode slični su onima koji se manifestiraju uporabom metode semantičkog diferencijala, a prvenstveno se odnose na način na koji ispitanici daju ocjene i koriste ponuđeni raspon ocjena. S obzirom da su problemi koji nastaju pri korištenju obje metode jednake prirode, rješavaju se na jednak način, dakle, pravilnim izborom metode statističke analize.

Četvrta metoda jest metoda procjene magnitude, pri čemu se taj pojam odnosi na procjenu magnitude neke psihoakustičke veličine ili subjektivnog parametra koji se koristi pri ocjeni kvalitete zvuka ili u neku drugu svrhu. Glavna je prednost ove metode što ne postoji ni gornja ni donja granica koju procijenjena magnituda može poprimiti, a razlučivost same metode je teoretski beskonačna jer ispitanik nije ograničen diskretnim brojem stupnjeva koje najčešće nude metode semantičkog diferencijala i stupnjevanog ocjenjivanja. No, za provedbu ove metode ispitaniku treba prezentirati dva uzorka zvuka od kojih je jedan proglašen referentnim, a drugi ispitnim. Tokom ispitivanja referentni uzorak je održan konstantnim, dok se ispitni mijenja, a zadatak ispitanika jest procijeniti vrijednost određenog parametra koji opisuje ispitni uzorak u odnosu na vrijednost tog istog parametra

kojom je opisan referentni uzorak, pri čemu je ta referentna vrijednost fiksirana na određenu brojčanu vrijednost, primjerice, 100 ili 1000. Primjer ovakvog načina ocjenjivanja ilustriran je na slici 3.5.



Slika 3.5. Ilustracija metode procjene magnitude

Problem koji se može pojaviti pri uporabi ove metode jest utjecaj koji izbor referentnog uzorka zvuka može imati na rezultate ispitivanja. Stoga je preporučljivo koristiti najmanje dva referentna uzorka zvuka, od kojih jedan iskazuje visoku vrijednost parametra koji se ocjenjuje pri ispitivanju, dok drugi ima nisku vrijednost tog istog parametra [71].

3.2. Subjektivni parametri odabrani za potrebe ovog istraživanja

U inicijalnim subjektivnim ispitivanjima provedenim u sklopu istraživanja za potrebe ove disertacije subjektivni su parametri strogo podijeljeni u nekoliko grupa. Razlog takvoj podjeli leži u želji da se detaljno ispita način na koji ispitanici koji sudjeluju u ispitivanjima formiraju svoje mišljenje o kvaliteti zvuka određenog tipa uređaja. U obzir je uzeto njihovo iskustvo u radu s određenim tipom uređaja te poznavanje zvuka koji određeni tip uređaja proizvodi pri radu. Odabir parametara prilagođen je kategoriji uređaja za koju se istraživanje provodi, a analizom rezultata subjektivnih ispitivanja pokazat će se važnost pojedinih subjektivnih parametara pri donošenju konačnog suda o svojstvima zvuka ili sâmih uređaja.

Struktura testa primijenjenog u inicijalnim subjektivnim ispitivanjima pokazana je na primjeru koji se nalazi u prilogu 2. Iz pokazanog je primjera vidljivo da su subjektivni parametri podijeljeni u četiri grupe. U prvoj se grupi nalaze parametri koji opisuju karakter zvuka te je od mnogobrojnih razmatranih parametara u tu grupu na koncu uvršteno

izabranih četrnaest koji na najučinkovitiji način opisuju karakter zvukova uređaja podvrgnutih ispitivanjima. Druga grupa sadrži parametre kojima je opisan doživljaj zvuka i njegov učinak na čovjeka. Prije svega se odnosi na neugodu i napetost koju određeni zvuk uzrokuje, no neki parametri iskazani su pozitivnim atributima kao što su ljepota, privlačnost ili moć radi ublažavanja negativnosti kojom je prožeta cijela grupa. Neki od parametara u ovoj grupi uvršteni su radi kontrole, a imaju suprotno značenje od već postojećih, primjerice, privlačan i odbojan. Konačno, u trećoj su grupi smješteni parametri koji se više ne odnose na zvuk uređaja, već na sâm uređaj koji proizvodi taj zvuk. U ovu su grupu parametara uvršteni oni parametri koje ocjenjuje i potencijalni korisnik pri prvom kontaktu s uređajem. Stoga su kao konačni izbor u ovu grupu uvršteni parametri kvalitete, sigurnosti, robusnosti izrade, snage, vrijednosti te ispravnosti uređaja. Na koncu, četvrta grupa sastoji se samo od jednog parametra koji definira konačnu želju za kupnjom uređaja, pri čemu je ispitanicima naglašeno da ta želja nije vođena potrebom za kupnjom tog uređaja, već kvalitetom zvuka koji ispitanika potiče ili odbija od kupnje tog uređaja.

Iz primjera testa korištenog u inicijalnim subjektivnim ispitivanjima vidljivo je da su za pojedine grupe parametara primijenjene različite metode ocjene. U ovoj fazi ispitivanja ispitanik nema kontrolu nad ispitnim signalom i ne može ga mijenjati ni namještati prema svojim afinitetima, već je njegova zadaća ocijeniti stvarne uzorke zvukova uređaja u njihovom izvornom obliku. U prve dvije grupe parametara zadaća ispitanika je dodijeliti diskretnu vrijednost, odnosno brojčanu ocjenu svakom parametru, pri čemu su ocjene postavljene u rasponu od 1 (nimalo) do 11 (izrazito) te ocjena 1 označava da određeni parametar uopće ne opisuje zvuk koji se ocjenjuje, dok ocjena 11 označava da je zvuk u velikoj mjeri opisan određenim parametrom. Jedanaest stupnjeva uzeto je jer su, po mišljenju autora, ispitanici još uvijek sposobni ocijeniti pojedine parametre u toj razlučivosti, dok bi grublje stupnjevanje dalo šture rezultate. Ovakav način ocjenjivanja razlikuje se od klasične metode ocjene putem semantičkog diferencijala primijenjene na trećoj grupi parametara koji se odnose na sâm uređaj. U skladu s ovom metodom, u trećoj su grupi parametara jasno definirane krajnosti koje određuju pojedini parametar koji je potrebno ocijeniti, primjerice, ocjena vrijednosti nekog uređaja kreće se u rasponu određenom suprotnostima jeftin-skup. I u ovom slučaju ispitanicima je ponuđeno 11 stupnjeva koji pokrivaju cijelo područje mogućih ocjena zbog već spomenutih razloga. Semantički diferencijal primijenjen je samo u trećoj grupi parametara zbog činjenice da je za svih šest parametara bilo moguće jednoznačno definirati krajnosti, odnosno suprotnosti koje definiraju određeni parametar. U grupama koje sadrže parametre koji opisuju karakter

i doživljaj zvuka umjesto semantičkog diferencijala primijenjeno je stupnjevano ocjenjivanje jer je pronalaženje suprotnosti kojima bi svaki parametar u grupi bio jednoznačno određen predstavljalo nerješiv problem. Dodatni problem leži i u činjenici da suprotnosti čije značenje nije do kraja razjašnjeno mogu imati drukčije značenje za svakog pojedinog ispitanika, od kojih neki vrlo vjerojatno i neće smatrati da dva ponuđena pojma koji određuju neki parametar imaju upravo suprotno značenje. Iz tih je razloga odlučeno da se u te dvije grupe parametara primijene parametri jednoznačno određeni jednim pojmom te provede ocjenjivanje metodom stupnjevanog ocjenjivanja, čime je izbjegnut opisani problem. U četvrtoj je grupi primijenjeno jednostavno bipolarno ocjenjivanje želje za kupnjom uređaja, što znači da ispitanici u ovom slučaju nisu stupnjevano ocjenjivali želju za kupnjom određenog uređaja, već su dali nedvosmislen pozitivan ili negativan odgovor.

3.3. Uzimanje uzoraka zvuka uređaja

Način na koji se pristupa uzimanju uzoraka zvuka koji pojedini uređaji proizvode pri radu ključan je za pravilnu provedbu akustičke karakterizacije tih uređaja. To prije svega znači da je nužno ispuniti dva osnovna uvjeta: zadržati točnu informaciju o razini zvučnog tlaka zvuka koji je potrebno snimiti i, ne manje važno, zadržati točnu informaciju o spektralnom sastavu tog zvuka. Oba uvjeta moguće je ispuniti uporabom kalibriranog sustava za snimanje u kojem je utjecaj svakog elementa u sustavu poznat i samim time je moguće predvidjeti i/ili kompenzirati njegov utjecaj na snimani zvučni signal. Spomenute uvjete nužno je ispuniti jer je time osigurano da će snimljeni signal biti vjerno reproduciran ispitanicima pri provedbi subjektivnih ispitivanja.

3.3.1. Radne faze uređaja za koje su uzeti uzorci zvuka

Uzorci zvuka, odnosno zvukova koji svaki pojedini uređaj emitira pri radu uzeti su za sve uređaje uključene u istraživanje, i to za nekoliko različitih faza radnog ciklusa svakog uređaja. Konkretno, uzeti su uzorci zvuka uređaja u praznom hodu, kada je on priključen na izvor napajanja i uključen, ali ne obavlja svoju primarnu funkciju. U ovoj fazi pogonski element uređaja okreće se nazivnom brzinom vrtnje, čime se i svi njime pokretani dijelovi uređaja također gibaju svojim nazivnim brzinama. Ova faza radnog ciklusa zanimljiva je zbog toga što se prosječni korisnik najprije susreće s uređajem koji radi u praznom hodu i

samim je time najčešće u mogućnosti ocjenjivati svojstva uređaja slušajući upravo zvuk u praznom hodu.

Nadalje, uzeti su uzorci zvuka uređaja u radu pod opterećenjem, kada je uređaj uključen i obavlja svoju funkciju, a svi pokretni dijelovi uređaja nalaze se pod opterećenjem. Pri pravilnom radu s bilo kojim ručnim električnim alatom opterećenje na radnom elementu uređaja koji je u izravnom dodiru s obrađivanim materijalom jest takvo da se brzine gibanja pokretnih dijelova uređaja pri radu pod opterećenjem vrlo malo razlikuju od onih u praznom hodu. Imajući na umu ovu činjenicu, moguće je provesti izravnu usporedbu zvuka koji uređaj proizvodi pri radu pod opterećenjem s onim u praznom hodu [68]. Neke vrste uređaja uključene u istraživanje konstruirane su tako da osim primarne funkcije mogu obavljati i sekundarne, pri čemu je nužno izvršiti određene izmjene na sâmom uređaju, npr. promjenom radnog elementa uređaja, odnosno izmjene u načinu rada uređaja. Međutim, redovito već postoje uređaji čija je primarna funkcija upravo jednaka sekundarnim funkcijama koje mogu obavljati gore spomenuti uređaji. Stoga su za potrebe ovog istraživanja uzorci zvuka uređaja u radu pod opterećenjem uzeti isključivo pri obavljanju njihove primarne funkcije.

Konačno, uzeti su i uzorci zvuka koji pojedini uređaji emitiraju pri zaustavljanju kao prijelaznoj fazi između rada u praznom hodu i stanja mirovanja. U početku je razmatrana mogućnost uzimanja uzoraka zvuka i za fazu pokretanja uređaja, no zbog veličine uređaja trajanje ove radne faze vrlo je kratko pa je ona zbog toga odbačena kao nepovoljna za ocjenjivanje putem subjektivnih ispitivanja. U fazi zaustavljanja pokretni dijelovi uređaja gibaju se u širokom rasponu brzina koji se kreće od nazivne brzine u praznom hodu do nule u mirovanju, čime se odziv cjelokupnog elektromehaničkog sustava uređaja kontinuirano mijenja. U tom se slučaju redovito otkrivaju nedostaci uzrokovani lošom konstrukcijom te starošću ili neispravnošću uređaja, što se manifestira čujnim nepravilnostima u zvuku koji pri takvom gibanju emitira uređaj. Otkrivene nepravilnosti koriste se kao indikator ukupnog stanja uređaja.

3.3.2. Specifičnosti pri uzimanju uzoraka zvuka uređaja u radu pod opterećenjem

U ovo istraživanje uključena su tri tipa uređaja iz kategorije ručnog električnog alata, i to vibracijske bušilice te ubodne i ručne kružne pile. Pri uzimanju uzorka zvuka uređaja u

radu pod opterećenjem nužno je osigurati da taj uzorak sadrži isključivo zvuk nastao pomicanjem pokretnih dijelova sâmog uređaja te zvuk nastao interakcijom radnog elementa uređaja i obrađivanog materijala. S druge strane, uzorak ne smije sadržavati zvuk koji proizvodi obrađivani materijal pobuđen mehaničkim djelovanjem uređaja. Rješenje ovog problema leži u izboru oblika, veličine i vrste uzorka obrađivanog materijala upotrijebljenog pri uzimanju uzoraka zvuka uređaja. Radi minimiziranja varijacija u procesu snimanja, na sve uređaje istog tipa montiran je isti radni element. Ukoliko to nije bilo moguće postići, radni elementi uzeti su iz serije elemenata jednakih po istrošenosti, odnosno oštini ili je na svakom uređaju zadržan izvorni radni element koji odgovara veličini i snazi uređaja.

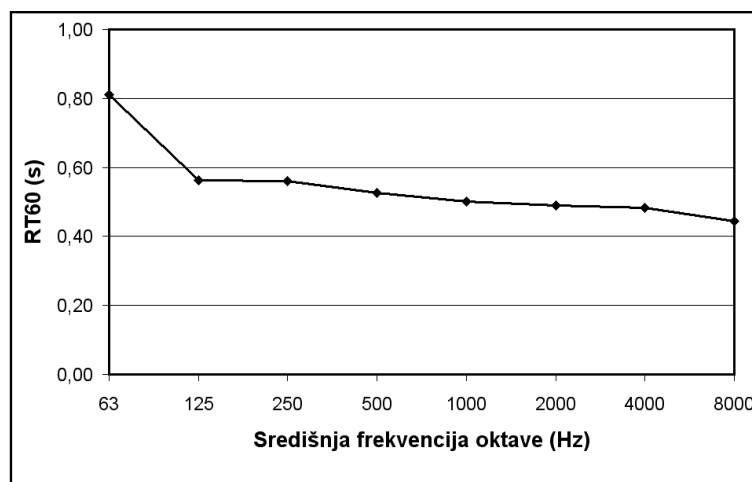
Pri uzimanju uzoraka zvuka vibracijskih bušilica upotrijebljen je valjkasti komad bukova drveta promjera 18 cm i visine 30 cm položen donjom bazom na pod prostorije te odvojen od njega gumenim nožicama. Za simulaciju opterećenja na svim je bušilicama upotrijebljeno isto svrdlo za metal promjera 10 mm kao radni element uređaja, kojim su za potrebe snimanja izbušene rupe u gornjoj bazi valjkastog komada drveta.

Za potrebe snimanja uzoraka zvuka ubodnih i ručnih kružnih pila upotrijebljen je komad oplemenjene iverice veličine 105 cm x 35 cm i debljine 18 mm montiran na drvenu konstrukciju odvojenu od podloge gumenim nožicama. Uzorak iverice montiran je tako da ne stoji izvan gabarita drvene konstrukcije više od 10 cm te je po potrebi pomican. Duljina uzorka materijala uz koju su pri radu pod opterećenjem načinjeni rezovi odabrana je kako bi vrijeme rada pod opterećenjem bilo takvo da se može uzeti uzorak zvuka duljine od najmanje 30 sekundi. Na ubodne pile montirani su potpuno novi noževi jednake duljine te veličine i broja zubaca te su od izvornog uzorka materijala odrezani komadi širine 1-2 cm. Na ručnim kružnim pilama ostavljene su kružne ploče izvorno montirane na njih jer svojom veličinom odgovaraju veličini, snazi i prihvatu radnog elementa uređaja te su od izvornog uzorka materijala odrezani komadi širine oko 1 cm.

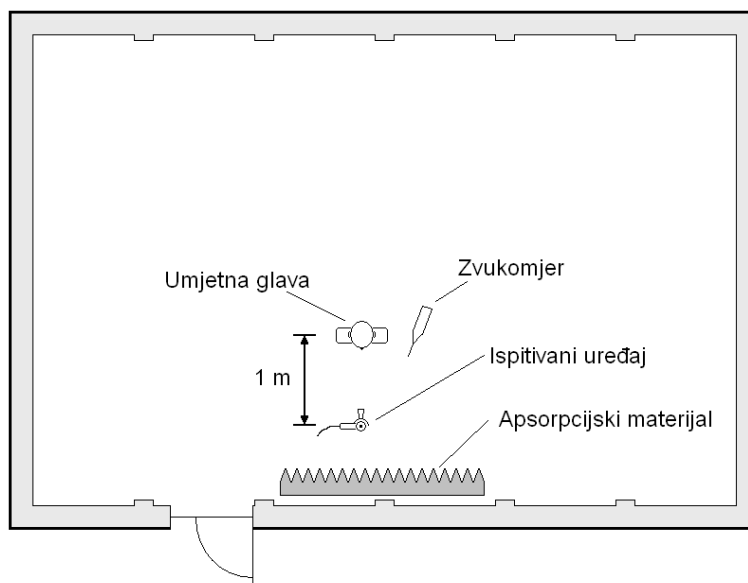
3.3.3. Karakteristike mjernog prostora i sustava za snimanje

Izbor prostora za snimanje uzoraka zvuka uređaja proveden je ravnajući se prema slijedećim smjernicama: tipičnim prostorima u kojima se uređaji uključeni u istraživanje i inače koriste te razini buke u prostoru neovisno o njezinom podrijetlu. Inicijalno je prednost bila davana gluhoj komori kao referentnom prostoru, no zbog nepostojanja

refleksija od stijenki prostora uzorci zvuka uzeti u takvom prostoru zvuče neprirodno i sâmim time nisu pogodni za uporabu u istraživanju ove vrste, osim ako se radi o uređajima koji se koriste isključivo na otvorenom prostoru. Kao konačno rješenje izabrana je slušaonica Zavoda za elektroakustiku Fakulteta elektrotehnike i računarstva. Na sâm dan snimanja provedeno je ispitivanje akustičke situacije u izabranom prostoru mjerenjem vremena odjeka i razine pozadinske buke. Vrijeme odjeka izmjereno u oktavnim pojasevima sa središnjim frekvencijama od 63 Hz do 8 kHz prikazano je na slici 3.6. Razina pozadinske buke u slušaonici na dan snimanja iznosila je $L_{Aeq} = 25,5 \text{ dB(A)}$.



Slika 3.6. Vrijeme odjeka izmjereno u slušaonici Zavoda za elektroakustiku na dan uzimanja uzoraka



Slika 3.7. Tlocrt slušaonice Zavoda za elektroakustiku sa skiciranim mjernim postavom

Postav mjernog sustava prikazan je na tlocrtu mjernog prostora prikazanom slikom 3.7. Radi dobivanja potpune i vjerne informacije sadržane u zvuku svakog uređaja, uzorci zvuka snimljeni su binauralno, uporabom umjetne glave Bruel&Kjaer 4128. Istovremeno su radi dobivanja monauralne snimke uzorci snimljeni pomoću zvukomjera Bruel&Kjaer 2231. I umjetna glava i zvukomjer smješteni su na udaljenost od 1 m od pozicije snimanog uređaja, što odgovara poziciji pomagača ili promatrača pri radu. Za snimanje zvuka uređaja onako kako ga čuje korisnik nužno je smjestiti umjetnu glavu i zvukomjer na udaljenost manju od navedene, no to nije učinjeno zbog opasnosti od oštećenja ili uništenja mjerne opreme. Umjetna glava spojena je na pretpojačalo Bruel&Kjaer Nexus te je, kao i zvukomjer, spojena na računalo preko vanjske zvučne kartice RME Fireface 400. Svi uzorci snimljeni su uz frekvenciju uzorkovanja od 44,1 kHz radi kompatibilnosti s programski izvedenim analizatorima signala i ulaznim dijelovima modela za izračun objektivnih parametara zvučne slike. Radi mogućnosti kalibracije, kako pri reprodukciji, tako i pri objektivnoj analizi uzoraka, snimljen je kalibracijski ton frekvencije 1 kHz i razine 94 dB dobiven kalibratorom Bruel&Kjaer 4230.

3.4. Postupak provedbe subjektivnih ispitivanja

3.4.1. Priprema uzoraka zvuka

Uzorci zvukova uzeti su i monauralno i binauralno za nekoliko različitih tipova uređaja, s tim da je za svaki tip na raspolaganju bilo barem sedam različitih primjeraka uređaja. Pri binauralnom snimanju kod kojeg se koristi umjetna glava ne smije se zanemariti djelovanje ušne školjke i zvukovoda kao svojevrsnog filtra na zvučni val koji pobuđuje mikrofone koji se u umjetnoj glavi nalaze na mjestu bubnjića. Dakle, prije pristupanja objektivnoj analizi nužno je izvršiti korekciju svih uzoraka uporabom filtra koji ima frekvencijsku karakteristiku inverznu onoj ušne školjke i zvukovoda. S druge strane, prije provedbe subjektivnih ispitivanja potrebno je izvršiti korekciju uzoraka kojom će se poništiti ne samo utjecaj ušne školjke i zvukovoda pri snimanju uzoraka, već i utjecaj slušalica, odnosno neidealnosti njihove amplitudnofrekvencijske karakteristike pri reprodukciji uzoraka. Trajanje izvornih snimki uzoraka je takvo da se iz njih mogu izdvojiti reprezentativni uzorci za reprodukciju ispitanicima u trajanju od 30 s za rad u praznom hodu i pod opterećenjem te uzorci zvuka pri zaustavljanju čija duljina odgovara vremenu

potrebno za zaustavljanje uređaja. Za potrebe objektivne analize uzorci zvuka za rad u praznom hodu i pod opterećenjem skraćeni su na 5 s radi skraćivanja vremena potrebnog za provedbu objektivne analize, dok su uzorci zvuka u zaustavljanju zadržani u svojoj izvornoj duljini radi zadržavanja potpune informacije o toj radnoj fazi svakog uređaja. Uzorci namijenjeni reprodukciji snimljeni su na kompaktne diskove zajedno s kalibracijskim signalom koji omogućava kalibraciju sustava za reprodukciju, čime je osigurana reprodukcija uzoraka ispitanicima uz razinu zvučnog tlaka jednaku onoj koju je pojedini uređaj stvarno i proizveo pri radu. Za svaki tip uređaja načinjena su četiri različita kompaktna diska na kojima su uzorci poredani slučajnim redom.

3.4.2. Prostor i oprema za reprodukciju uzoraka zvuka

Prostor u kojem su provedena subjektivna ispitivanja identičan je onome u kojem su uzeti uzorci zvuka uređaja. Dakle, radi se o slušaonici Zavoda za elektroakustiku na Fakultetu elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu. Razlog odabira baš ovog prostora za provedbu subjektivnih ispitivanja jest prije svega dostupnost potrebne opreme, kao i niska razina unutarnje buke te relativno dobra izoliranost od vanjskih izvora buke. Budući da su pri reprodukciji uzoraka zvuka korištene slušalice, akustička svojstva samog prostora nisu od presudnog značaja. Pri provedbi ispitivanja iz prostora je nužno ukloniti, odnosno smanjiti na najmanju moguću mjeru sve podražaje koji mogu poremetiti usredotočenost ispitanika na samo ispitivanje. Prije svega se to odnosi na vizualne podražaje pa je iz tog razloga ispitivanje provedeno s prigušenom rasvjetom kojom je osvijetljen samo dio prostora u kojem se nalaze ispitanici. Dodatno, iz prostora su uklonjeni ili na neki način zaklonjeni svi predmeti jarkih boja koji su, prema procjeni ispitivača, mogli utjecati na koncentraciju ispitanika pri ispitivanju. Konačno, radi osiguravanja privatnosti za svakog ispitanika te onemogućavanja bilo kakvog utjecaja bilo kojeg ispitanika na ostale ispitanike, za potrebe ispitivanja unutar prostorije je izgrađen sustav pregrada kojim je za svakog ispitanika ograđen mali dio prostora. Time je ne samo osigurana privatnost svakom ispitaniku, čime je stvoren osnovni preduvjet za samostalno i nepristrano davanje ocjena, već je i dodatno smanjena mogućnost dekoncentracije ispitanika pod utjecajem neželjenih vizualnih podražaja.

Kako je već spomenuto, uzorci zvuka potrebni kako za subjektivna ispitivanja, tako i za objektivnu analizu, snimani su i monauralno i binauralno, pri čemu je veća važnost dana

binauralno snimljenim uzorcima zbog činjenice da je u binauralno snimljenom signalu sadržana potpuna informacija o izvoru zvuka. No, za kvalitetnu reprodukciju binauralnih signala nužna je uporaba slušalica, uz dodatni zahtjev da uzorci zvuka budu reproducirani grupi od najviše osam ispitanika istovremeno. Radi zadržavanja jednostavnosti ispitnog sustava on se sastoji samo od reproduktora kompaktnih diskova kao izvora zvuka koji je spojen izravno na distribucijsko pojačalo za slušalice na koje je moguće istovremeno priključiti do 12 pari slušalica, što je i više nego dovoljno za ispunjenje gore spomenutog zahtjeva.

3.4.3. Način odvijanja ispitivanja

Na početku ispitivanja ispitanici su ukratko upoznati s prirodom ovog istraživanja te su im u kratkim crtama naznačeni ciljevi istraživanja. Radi razbijanja nelagode koju ispitanici gotovo redovito osjećaju pri prvom susretu s ovakvom vrstom testova, ispitanicima je posebno naglašeno da su ispitivanja anonimna te da se njihovo ime ili osobni podaci ni na kakav način neće pojaviti, objaviti ni biti dovedeni u vezu s rezultatima ovog istraživanja te da čak ni ispitivač neće biti u mogućnosti povezati konkretan test s ispitanikom koji ga je ispunio. Nakon ovih inicijalnih napomena ispitanici su upoznati s konkretnim tipom uređaja čija će kvaliteta zvuka biti ocijenjena na testu te im je po potrebi objašnjena funkcija i građa, odnosno vanjski izgled takvog tipa uređaja jer u izabranoj grupi ispitanika redovito ima i onih koji nikada nisu imali priliku vidjeti ili čuti takav uređaj kao ni raditi njime. Zatim ispitanici u sklopu testa ispunjavanju upitnik koji se sastoji od pitanja o dobi i spolu. Dodatna dva pitanja u upitniku odnose se na učestalost korištenja uređaja koji se ocjenjuje u poslovnom i/ili privatnom životu ispitanika te na poznavanje zvuka koji takav uređaj emitira pri radu. Ovakvim izborom pitanja namjera je bila uzeti u obzir i mogućnost da su ispitanici na neki drugi način došli u doticaj sa zvukom određenog tipa uređaja, čak i ako sâmi nisu imali prilike njime raditi. Navedena dva pitanja iskorištena su za procjenu iskustva ispitanika i njihovog dodira s određenim tipom uređaja.

Po završetku uvodnog dijela ispitivanja u kojem su ispitanici upoznati s ciljem istraživanja te su prikupljeni osnovni podaci o svakom ispitaniku, prelazi se na upoznavanje ispitanika s načinom izvođenja sâmog ispitivanja. U tu svrhu ispitanicima su dâna detaljna objašnjenja, kako pismena, dakle, sadržana u sâmom testu, tako i usmena koja je na licu mjesta dao voditelj ispitivanja. Detaljna i nedvosmislena pojašnjenja su nužna jer njihov

izostanak može značajno utjecati na rezultate dobivene ispitivanjima [72]. Prije svega, ispitanici su upoznati s grupama parametara koji se pojavljuju u testu, njihovim značenjem te načinom davanja ocjena za pojedinu grupu parametara. Pri tome im, naravno, nije sugerirano kakve te ocjene trebaju biti već se spomenute upute odnose isključivo na pravilan način ispunjavanja samog testa. Sve nedoumice oko značenja pojedinih parametara ispitanicima su pojašnjene u ovoj fazi ispitivanja. Dodatna pažnja skrenuta im je na nužnost pažljivog davanja ocjena u trećoj grupi parametara koja se odnosi na svojstva samog uređaja, u kojoj je primijenjena metoda semantičkog diferencijala, gdje su iz prije opisanih razloga na jednu stranu ljestvice naizmjenice smještene i pozitivne i negativne krajnosti parametara koji čine spomenutu grupu. Također im je naglašeno da želju za kupnjom uređaja ocijene prema tome je li zvuk koji su upravo čuli u njima pobudio ili zatomio tu želju, a ne prema tome žele li ili stvarno trebaju takav uređaj u svom domu ili ne. Konačno, ispitanicima je u nekoliko navrata izričito napomenuto da u testu ne postoje točni i netočni odgovori te da sve ocjene daju isključivo prema svom nahođenju, odnosno da te ocjene odražavaju njihov individualni opis i doživljaj zvuka, odnosno uređaja koji ga proizvodi. Također, ispitanici su potaknuti da se za sve nejasnoće bez ustručavanja mogu obratiti voditelju ispitivanja kako bi se one riješile u početku te time bilo osigurano kvalitetno provođenje ispitivanja. Radi upoznavanja i privikavanja ispitanika s definiranim načinom izvođenja ispitivanja u test su uvrštena dva probna uzorka zvuka uređaja koji nemaju konstruktivnih sličnosti s uređajima koji će kasnije biti ocjenjivani.

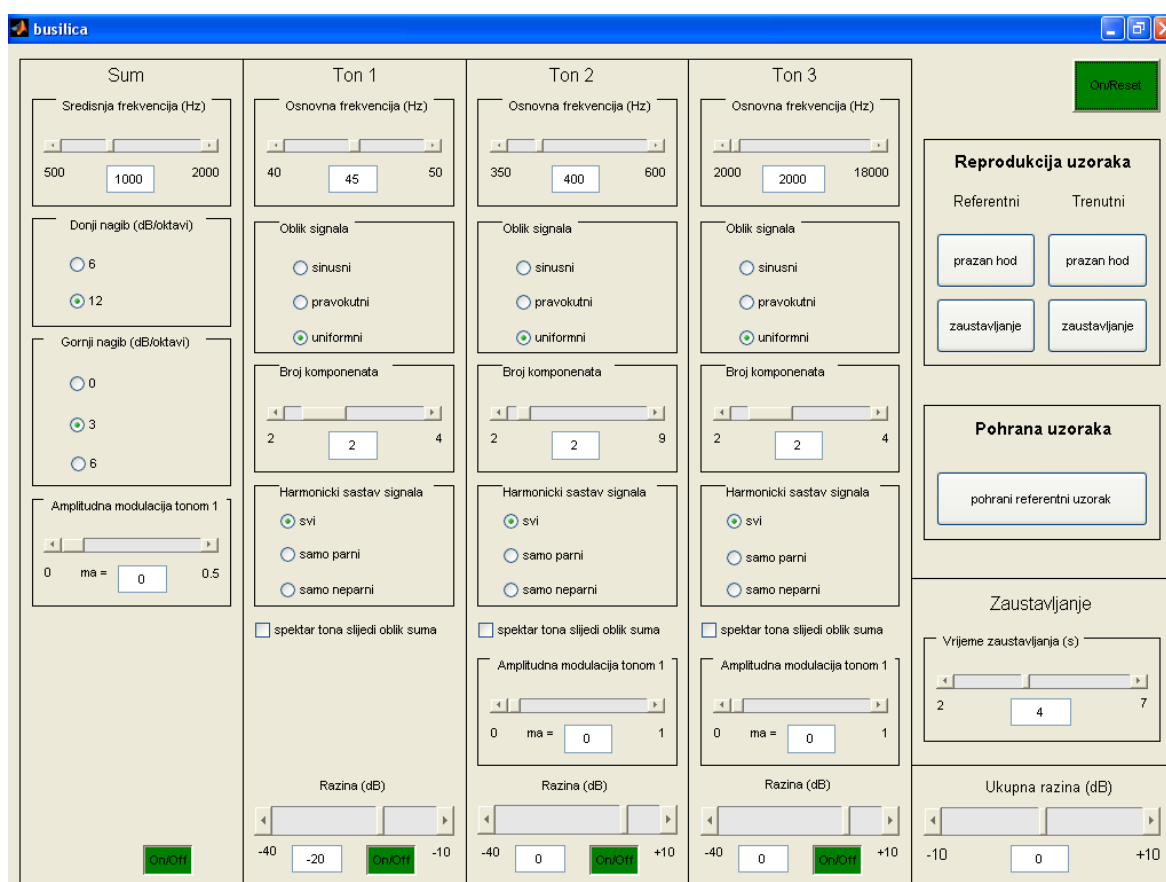
Po završetku ocjene probnih uzoraka zvuka te otklanjanju svih nedoumica koje se tiču načina provođenja ispitivanja, stvarno ispitivanje počinje upoznavanjem ispitanika s pojedinim grupama uzoraka zvukova koji su uzeti za različite radne faze uređaja u svrhu uporabe u subjektivnim ispitivanjima. Radi mogućnosti izravne usporedbe zvukova uređaja u pojedinim radnim fazama, uzorci zvuka uređaja sekvencijalno se reproduciraju ispitanicima po grupama koje sadrže uzorke zvuka određene radne faze uređaja. Najprije se reproduciraju uzorci zvuka svih uređaja u praznom hodu, zatim u radu pod opterećenjem te na koncu pri zaustavljanju. Uzorci zvuka za rad u praznom hodu te pod opterećenjem uzeti su u trajanju od 30 sekundi, dok su uzorci zvuka za fazu zaustavljanja kraći te se njihovo trajanje kreće od 3 do 13 sekundi. Međutim, uzorci tako kratkog trajanja nisu dovoljni ispitanicima da na temelju njih stvore relevantan sud te daju ocjene. Stoga su konačni uzorci za fazu zaustavljanja namijenjeni reprodukciji ispitanicima načinjeni od izvornih tako da je u vremenu od 30 sekundi izvorni uzorak ponavljen nekoliko puta, pri čemu se broj ponavljanja razlikuje od uzorka do uzorka i ovisi o njegovoj duljini. Prije

reprodukcije jednog po jednog uzorka u praznom hodu, ispitanicima je reproduciran zajednički uzorak u kojem su u 30 sekundi sadržani kratki isječki svih uzoraka koji će biti reproducirani pri ispitivanju, kao i onih koji su naknadno izbačeni. Naime, u fazi pripreme ispitivanja prikupljeno je sedam primjeraka ručnih kružnih pila, devet vibracijskih bušilica te jedanaest ubodnih pila od čijih je zvukova stvorena baza uzoraka zvuka, a prvobitni plan ispitivanja uključivao je korištenje svih dobivenih uzoraka zvuka. No, utvrđeno je da bi ispitivanja takvog opsega zahtijevala previše vremena pri čemu bi neminovno došlo do prevelikog zamora ispitanika pa bi i kvaliteta tako dobivenih rezultata bila vrlo upitna. Stoga je odlučeno da u ispitivanjima bude uključeno svih sedam uzoraka zvuka ručnih kružnih pila, dok je broj uzoraka zvuka vibracijskih bušilica i ubodnih pila smanjen na šest. Unatoč tome, u zajedničkim su uzorcima zadržani isječki svih snimljenih uzoraka kako bi ispitanici bili upoznati sa što je moguće širom paletom zvukova koje pri radu proizvode uređaji određenog tipa. Isti takav zajednički uzorak ispitanicima je reproduciran i pri ocjeni zvuka rada pod opterećenjem, dok za fazu zaustavljanja takav uzorak nije načinjen jer su ispitanici u ovoj fazi ispitivanja već upoznati s paletom zvukova koje proizvode uređaji, a jedan kraći dio uzorka zvuka uređaja u zaustavljanju uvijek sadrži i zvuk rada u praznom hodu. Zajedničke uzorke ispitanici ne ocjenjuju, već ih samo slušaju iz upravo opisanih razloga. Pri ocjenjivanju svakog pojedinog uzorka, bez obzira o kojoj se radnoj fazi radi, ispitanik ima punu slobodu davati ocjene kako za vrijeme trajanja reprodukcije u iznosu od 30 sekundi, tako i za vrijeme trajanja tišine u očekivanju reprodukcije slijedećeg uzorka zvuka. Period tišine ubačen je prvenstveno radi sprečavanja prerane pojave zamora kod ispitanika. Pri planiranju ispitivanja vrijeme tišine postavljeno je na 30 sekundi, no u stvarnosti je ispitanicima dâno vremena koliko im je bilo potrebno da završe ocjenjivanje pojedinog uzorka, s tim da su na sâmom početku ispitivanja ispitanici potaknuti da ocjene daju više instinktivno, a manje razmišljajući, kako zbog činjenice da je prva reakcija na neki podražaj uglavnom ispravna, tako i zbog činjenice da je u testu potrebno ocijeniti veliki broj parametara u kratkom vremenu te postoji opasnost da ispitanik jednostavno zaboravi što je upravo poslušao ukoliko svakom parametru posveti previše vremena.

S obzirom da su određene grupe ispitanika sudjelovale u ispitivanjima više puta, za takve grupe nije bilo potrebe svaki puta ponavljati uvodni dio ispitivanja vezan uz upoznavanje s postupkom ispitivanja i davanja ocjena, čime je ostvarena znatna ušteda vremena potrebnog za provođenje ispitivanja.

3.5. Sinteza uzoraka zvuka uređaja

Nakon prvog, analitičkog dijela subjektivnih ispitivanja u kojem su ispitanici ocjenjivali uzorke zvukova stvarnih uređaja, drugi dio ispitivanja proveden je uvođenjem mogućnosti sinteze zvuka za svaki pojedini tip uređaja. Konkretno, zadatak ispitanika bio je sintetizirati zvuk koji je, po njihovom mišljenju, upravo onakav kakav bi određeni tip uređaja trebao imati. U svrhu izvođenja ovog dijela ispitivanja izrađene su računalne aplikacije za svaki pojedini tip uređaja. Način sinteze uzoraka zvuka te način uporabe aplikacija detaljno su opisani u nastavku. Primjer aplikacije pokazan je na slici 3.8.

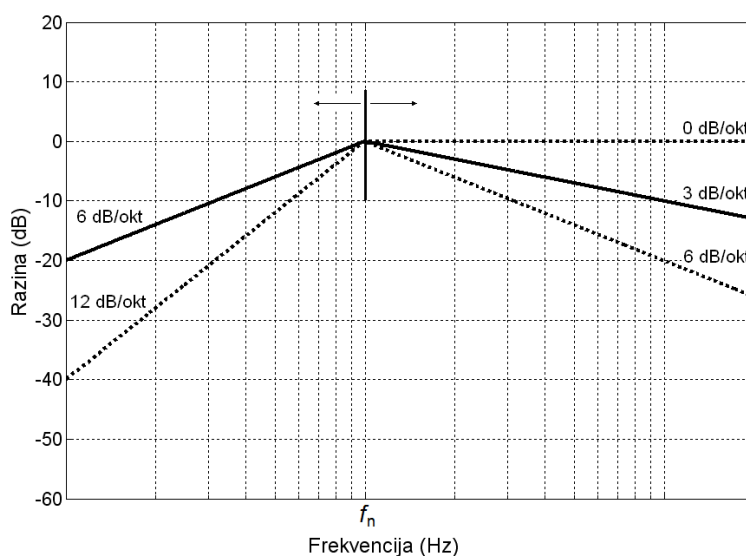


Slika 3.8. Aplikacija namijenjena sintezi zvuka vibracijskih bušilica

Aplikacije su izrađene na temelju detaljne analize vremensko-frekvencijskog sadržaja uzoraka zvuka stvarnih uređaja. Kao što je vidljivo iz slike, sinteza zvuka u ovim je aplikacijama omogućena definiranjem četiri sastavna dijela signala, konkretno, sastavnice širokopojsnog šuma te tri tonalne sastavnice. Broj sastavnih dijelova konačnog zvučnog signala ograničen je radi zadržavanja jednostavnosti aplikacije te ograničavanja stupnja slobode koji ispitanici imaju u postupku stvaranja idealnog zvuka za pojedini tip uređaja. S

druge strane, uz spomenuta ograničenja ispitanici možda neće biti u mogućnosti sintetizirati baš onakav zvuk kakav su zamislili, ali će se tome ipak moći približiti u velikoj mjeri.

Osnovna sastavnica koja se pojavljuje u zvuku nekog uređaja jest širokopojasni šum, u stvarnim uređajima redovito uzrokovan strujanjem zraka potrebnog za hlađenje uređaja pri radu. Ovdje treba naglasiti da je spektar tog šuma oblikovan fizičkim karakteristikama sâmog uređaja te se ne radi o poznatim oblicima šuma kao što su bijeli ili ružičasti. U aplikaciji je pri oblikovanju ove sastavnice ostavljena mogućnost promjene prijelomne frekvencije f_n u rasponu od 500 do 2000 Hz. Ispod te frekvencije amplituda šuma pada po zakonu koji je u aplikaciji zadan nagibom od 6, odnosno 12 dB/oktavi. Isti je slučaj i iznad središnje frekvencije, ali su zadani nagibi od 0, 3 i 6 dB/oktavi. Svi tako oblikovani spektri šuma prikazani su na slici 3.9.

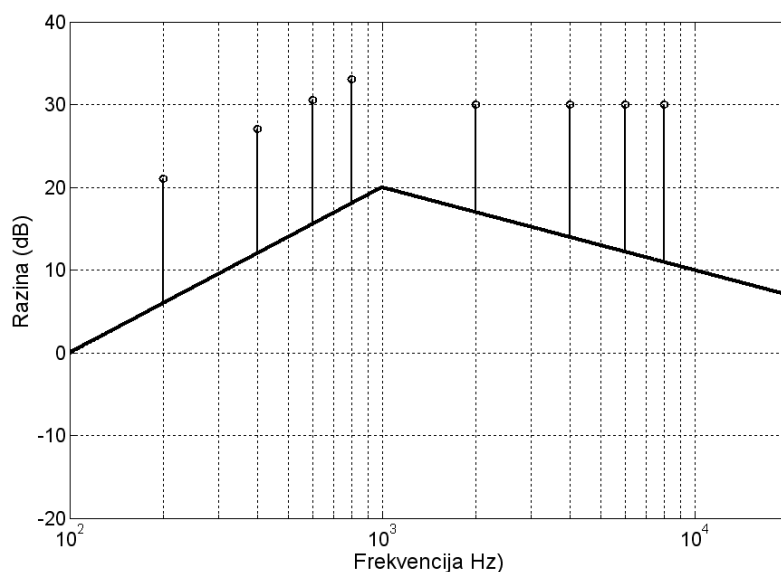


Slika 3.9. Oblikovanje širokopojasnog šuma

Osim širokopojasnog oblikovanog šuma, pri sintezi su korištene tri tonalne sastavnice koje sadrže čiste ili složene tonove. Za svaku od njih moguće je odabrati osnovnu frekvenciju te oblik tonalnog signala. Pri odabiru oblika signala dâne su tri mogućnosti: sinusni oblik signala, kod kojeg ton ima samo komponentu osnovne frekvencije, zatim pravokutni oblik signala, kod kojeg ton osim osnovne frekvencije ima i određen broj neparnih harmonika, a amplitude komponenata mijenjaju se obrnuto proporcionalno s frekvencijom te uniformni oblik signala, koji se također sastoji od osnovne frekvencije i određenog broja harmonika, a amplitude svih komponenata su jednake. Za pravokutni i uniformni oblik signala moguće

je odabrati ukupni broj komponenata od kojih se složeni tonalni signal sastoji. Dodatno, za uniformni oblik signala moguće je odabrati i sastav tonalnog signala pa on uz osnovnu frekvenciju može sadržavati samo parne, samo neparne ili sve harmonike.

Nadalje, za sve tonalne signale moguće je odabrati opciju da njihov spektar slijedi oblik spektra šuma. U tom slučaju mijenjaju se odnosi amplituda pojedinih komponenata u signalu u skladu s oblikom spektra šuma. Primjer ovakve modifikacije tonalnog signala pokazan je na slici 3.10.



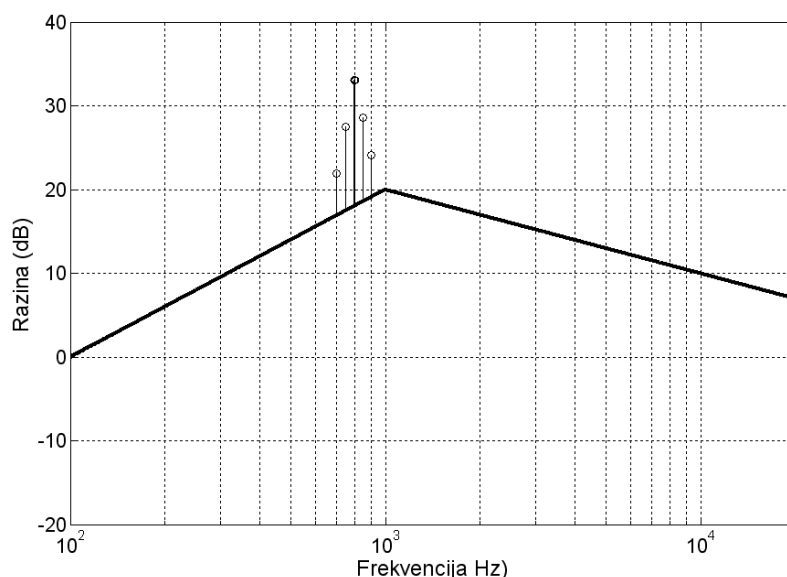
Slika 3.10. Modifikacija amplituda tonalnih komponenti tako da slijede oblik šuma

Na slici 3.10 prikazan je spektar šuma oblikovanog tako da je uzeta prijelomna frekvencija od 1 kHz, ispod koje amplituda šuma pada sa 6 dB/oktavi, a iznad s 3 dB/oktavi. Definirana su i dva izvorno uniformna tonalna signala koji se sastoje od osnovnih frekvencija od 200 i 2000 Hz i tri harmonika. Amplitude komponenata signala osnovne frekvencije 200 Hz modificirane su tako da slijede nagib oblikovanog šuma od 6 dB/oktavi, pri čemu i njihove amplitude rastu s istim faktorom u ovisnosti o frekvenciji. Na komponente tonalnog signala osnovne frekvencije 2000 Hz nije primijenjena modifikacija, tako da su njihove amplitude i dalje međusobno jednake i zadržan je izvorni uniformni karakter tog tonalnog signala.

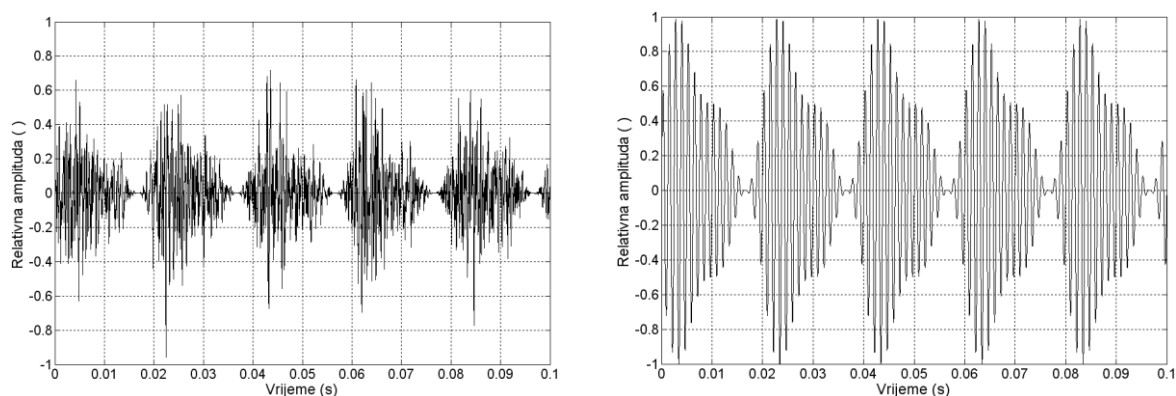
Razina sva tri tonalna signala namješta se u odnosu na razinu signala oblikovanog šuma koja je ostavljena fiksnom radi smanjenja kompleksnosti aplikacije. U konačnici se može namjestiti razina ukupnog sintetiziranog zvučnog signala. Nadalje, svaka od četiri

sastavnice ukupnog zvučnog signala može se isključivati i uključivati, čime ispitanik može ocijeniti važnost, odnosno udio pojedine sastavnice u ukupnom zvučnom signalu.

Prvi tonalni signal ima nisku osnovnu frekvenciju koja je izravno vezana s brzinom vrtnje pogonskog elementa uređaja. Kod uređaja uključenih u istraživanje ova sastavnica ima maleni udio u ukupnom zvučnom signalu i uglavnom je nečujna zbog male veličine uređaja. No, pogonski element uređaja uzrokuje gibanje drugih pokretnih dijelova uređaja istom osnovnom brzinom pa se postojanje ovog tonalnog signala manifestira prije svega u ostalim sastavnicama ukupnog zvučnog signala koje su posljedica gibanja ostalih pokretnih dijelova uređaja. U aplikaciji je ova pojava izražena mogućnošću definiranja određenog stupnja amplitudne modulacije ovim tonalnim signalom, kako šuma, tako i preostalih dvaju tonalnih signala. I dok je pojava amplitudne modulacije tonalne komponente jasno vidljiva i u spektru i u valnom obliku zvučnog signala, amplitudna modulacija šuma nevidljiva je u klasičnom spektralnom prikazu, osim u spektrogramu dovoljno visoke vremenske razlučivosti, no moguće ju je jasno vidjeti u valnom obliku moduliranog signala. Primjeri spektara i valnih oblika amplitudno moduliranog šuma i tona pokazani su na slikama 3.11 i 3.12. Modulacijski signal u oba je slučaja ton osnovne frekvencije 50 Hz koji sadrži i drugi harmonik. Prijenosni signal je u jednom slučaju šum, a u drugom sinusni ton osnovne frekvencije 800 Hz.



Slika 3.11. Principni oblik spektra amplitudno moduliranog širokopojasnog šuma i diskretnog tona



Slika 3.12. Primjeri valnih oblika amplitudno moduliranog širokopojasnog šuma (lijevo) i sinusnog tona (desno)

Drugi tonalni signal definiran u aplikaciji ima osnovnu frekvenciju smještenu u području srednjih frekvencija oko 500 Hz, a posljedica je gibanja masivnijih pokretnih dijelova uređaja.

Osnovna frekvencija trećeg tonalnog signala nalazi se u području frekvencija iznad 2000 Hz, što daje naslutiti da uzrok pojave ovog tonalnog signala leži u gibanju sitnih pokretnih dijelova uređaja.

U sâmoj aplikaciji moguće je uz određene vrijednosti osnovne frekvencije, oblika i sastava signala te broja komponenata tonalnog signala generirati i frekvencijske komponente u spektru čije frekvencije premašuju polovicu frekvencije uzorkovanja, što dovodi do aliasinga, odnosno pojave neželjenih frekvencijskih komponenti kojih nema u izvornom signalu. Zbog toga je u aplikaciju ugrađeno svojevrсно upozorenje koje signalizira ispitaniku da smanji osnovnu frekvenciju tonalnog signala i/ili broj komponenata, odnosno promijeni oblik i/ili sastav signala.

Sâma aplikacija izrađena je prvenstveno za simulaciju zvuka uređaja pri radu u praznom hodu. Međutim, na temelju zadanih parametara moguće je simulirati i zvuk uređaja proizveden pri zaustavljanju. Pri tome su načinjene pretpostavke da amplitude šuma i komponenata tonalnih signala padaju linearno od zadanih vrijednosti do nule, a frekvencije komponenata tonalnih signala padaju također linearno od zadanih vrijednosti do nule. Za proces zaustavljanja definira se vrijeme potrebno za zaustavljanje uređaja, pri čemu je dopustivi raspon zadan u aplikaciji nešto širi no što je ustanovljeno analizom snimljenih uzoraka zvuka dostupnih uređaja u fazi zaustavljanja. Konkretno, dopuštena su i duža vremena zaustavljanja od onih dobivenih analizom radi omogućavanja sinteze uzoraka zvuka hipotetskih uređaja kakvi nisu susretani u praksi.

S obzirom na činjenicu da su u istraživanje uključena tri tipa uređaja, načinjene su i tri aplikacije. One su po svojoj građi i izgledu jednake, ali su od aplikacije do aplikacije izmijenjeni rasponi vrijednosti nekih parametara. Konkretno, u aplikaciji namijenjenoj sintezi zvuka ubodnih pila dopušten je puni raspon indeksa modulacije od 0 do 1 za sve sastavnice zvučnog signala u za koje je definirana amplitudna modulacija jer se očekuje da su ispitanici upoznati s karakterom zvuka tih uređaja u kojem je ona jasno čujna. S druge strane, u aplikacijama namijenjenim sintezi zvuka vibracijskih bušilica i ručnih kružnih pila indeks modulacije za širokopojasni šum ograničen je na 0,5. Isto tako, raspon mogućih vremena zaustavljanja utvrđen je za svaki tip uređaja posebno, ovisno o prosječnoj veličini, masi, snazi i namjeni uređaja.

Tijek sâmog ispitivanja zamišljen je na slijedeći način: ispitanik pokreće aplikaciju i zadaje inicijalni skup parametara tipkom On/Reset. Istom tipkom može u tijeku ispitivanja ponovno namjestiti sve parametre na njihove početne vrijednosti, koje su odabrane tako da ispitaniku zorno predoče sve mogućnosti koje aplikacija nudi. Daljnji tijek ispitivanja ovisi isključivo o ispitaniku koji ima punu slobodu mijenjati vrijednosti parametara po želji u okviru zadanih ograničenja te uključivati i isključivati pojedine sastavnice ukupnog signala. Uzorak zvuka generiran na temelju skupa parametara ispisanih u aplikaciji označen je kao trenutni, a ispitanik može poslušati simulaciju načinjenu kako za prazan hod, tako i za zaustavljanje. Ukoliko je zadovoljan generiranim uzorkom, ispitanik ga može pohraniti kao referentni uzorak, pri čemu su svi parametri koje je moguće mijenjati u simulaciji pohranjeni u obliku MATLAB .mat datoteke. Dodatno, pohranjeni su i uzorci zvuka rada uređaja u praznom hodu i pri zaustavljanju, svaki u posebnu zvučnu .wav datoteku. Ispitanik može u bilo kojem trenutku pristupiti referentnom uzorku i poslušati ga radi usporedbe s trenutnim uzorkom zvuka. Ukoliko je trenutni uzorak zvuka više u skladu s ispitanikovim željama, očekivanjima i predodžbom o tome kakav bi uzorak zvuka pojedinog tipa uređaja trebao biti, ispitanik ga pohranjuje i on tada postaje referentan. Postupak se može ponavljati po volji ispitanika koliko god je potrebno sve dok ispitanik nije u potpunosti zadovoljan zvukom koji je sintetizirao. Posljednji pohranjeni uzorak tada postaje i konačni uzorak zvuka određenog tipa uređaja onakvog kakvim ga vidi svaki pojedini ispitanik. Parametre pohranjene u .mat datoteci moguće je u daljnjoj obradi u svakom trenutku pozvati i rekonstruirati uzorak zvuka, iako je on već pohranjen u .wav datotekama radi sigurnosti.

4. Analiza rezultata subjektivnih ispitivanja

Pri analizi rezultata dobivenih subjektivnim ispitivanjima nužno je upotrijebiti statističke metode i postupke, s obzirom na činjenicu da se stavovi cijele populacije pokušavaju opisati na temelju reprezentativnog uzorka koji čine ispitanici koji sudjeluju u ispitivanjima. Statistička analiza nužna je već i iz razloga što stavovi i mišljenja svakog pojedinog ispitanika, izraženi ocjenama koje je dao pri provedbi ispitivanja, vrlo individualni jer na njihovo formiranje utječe iskustvo ispitanika u radu s određenim uređajem, psihofizičko stanje, raspoloženje ili očekivanja, kao što je već rečeno. Stoga će promatranje uzorka populacije kao cjeline dati trendove kojima je moguće objasniti razlike između pojedinih uređaja istog tipa koji su podvrgnuti ocjenjivanju u subjektivnim ispitivanjima.

4.1. Utvrđivanje iskustva ispitanika

U prilogu 2 pokazan je skraćeni primjerak testa korištenog u inicijalnim subjektivnim ispitivanjima. Za procjenu iskustva ispitanika upotrijebljen je kratak upitnik koji ispitanici ispunjavaju na samom početku svakog ispitivanja. Upitnik se sastoji od dva pitanja, od kojih je prvo objektivne prirode i odnosi se na učestalost korištenja određenog tipa uređaja u poslovnom/privatnom životu. Odgovor na ovo pitanje stupnjevan je u pet kategorija i svakoj od njih dodijeljena je odgovarajuća brojana vrijednost, redom 8 (nekoliko puta tjedno), 6 (nekoliko puta mjesečno), 4 (nekoliko puta godišnje), 2 (manje od jednom godišnje) i 0 (nikada). Drugo pitanje subjektivne je prirode i odnosi se na procjenu poznavanja zvuka koji pri radu emitira pojedini tip uređaja, a postavljeno je s namjerom da se obuhvate i oni ispitanici koji možda rijetko ili nikada ne koriste neki tip uređaja, ali su ipak neizravno upoznati sa zvukom koji taj tip uređaja proizvodi. Odgovor na ovo pitanje stupnjevan je u tri kategorije te su im i u ovom slučaju dodijeljene odgovarajuće brojčane vrijednosti, redom 2 (dobro), 1 (slabo) i 0 (ne poznajem). Ovakvim dodjeljivanjem brojčanih vrijednosti prednost pri procjeni iskustva ispitanika dana je aktivnoj uporabi nekog uređaja jer je, prema mišljenju autora, upoznavanje sa zvukom nekog uređaja daleko učinkovitije pri učestalom korištenju tog uređaja nego pri pasivnom slušanju rada istog.

Za procjenu iskustva ispitanika brojčane se vrijednosti dobivene iz odgovora na oba postavljena pitanja zbrajaju, pri čemu je prag koji je potrebno postići ili prijeći da bi

ispitanik bio smatran iskusnim postavljen na vrijednost 5 od mogućih 10 bodova. Ova vrijednost praga, u sprezi s gore opisanim načinom vrednovanja odgovora ispitanika, izabrana je u želji da se pravilno ocijeni iskustvo ispitanika, čak i u slučaju da njihovi odgovori nisu dosljedni i u skladu sa stvarnim stanjem. Konkretno, želja je bila izbjeći da ispitanik bude proglašen iskusnim čak i u slučaju da uređaj koristi manje od jednom godišnje ili nikada, ali da zato, prema vlastitoj tvrdnji, dobro poznaje njegov zvuk, ili, pak, da bude proglašen neiskusnim unatoč tome što uređaj koristi barem nekoliko puta godišnje, ali skromno izjavljuje da slabo poznaje njegov zvuk. Opisan način procjene iskustva ispitanika uspješno rješava takav problem.

4.2. Normiranje ocjena

Pri provedbi subjektivnih ispitivanja način na koji pojedini ispitanici daju ocjene ovisi o velikom broju čimbenika pa će tako neki ispitanici biti skloniji davanju općenito pozitivnijih ili negativnijih ocjena, ovisno o trenutnom raspoloženju ili generalnom emocionalnom stanju u kojem se nalaze, neki će koristiti cijeli raspon ponuđenih ocjena, neki će svoje ocjene grupirati u relativno usko područje izbjegavajući ekstremne vrijednosti, a neki će pribjeći gotovo isključivo baš ekstremnim vrijednostima. Stoga je poželjno provesti normiranje izvornih ocjena što, u osnovi, znači da se iz izvorne varijable x , za koju se smatra da ima normalnu razdiobu $N(\mu, \sigma^2)$, pri čemu je μ srednja vrijednost, a σ standardna devijacija izračunata na skupu izvornih ocjena koje čine varijablu x , dobiva nova varijabla X prema izrazu:

$$X = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (4.1)$$

Nova varijabla X nema dimenziju, a osnovne su joj značajke to da je njezina srednja vrijednost 0, a standardna devijacija 1, dakle, ima normalnu razdiobu $N(0,1)$. Njome se izražava koliko se standardnih devijacija svaka pojedina ocjena nalazi ispod ili iznad srednje vrijednosti cijelog uzorka.

Gledano iz perspektive ovog istraživanja, normiranje ocjena omogućuje izravnu usporedbu ocjena koje su na vrlo individualan način dali pojedini ispitanici jer je postavljanjem srednje vrijednosti na nulu uklonjena 'istosmjerna' komponenta iz uzorka koji čine sve

ocjene pojedinog parametra koje je dao određeni ispitanik. Na taj način ostaje samo 'izmjenična' komponenta, drugim riječima, varijacije između pojedinih ocjena koje odražavaju varijacije između pojedinih uzoraka zvuka koji su ocijenjeni na testu. Spomenute varijacije također ovise o načinu ocjenjivanja koji primjenjuje svaki pojedini ispitanik te je gore opisanim postupkom normizacije omogućena izravna usporedba i daljnja manipulacija dobivenim subjektivnim ocjenama. U tablici 4.1 pokazano je nekoliko primjera uzoraka s izvornim ocjenama te njihovih normiranih vrijednosti, kakvi su se često pojavljivali u rezultatima subjektivnih ispitivanja. U prethodnom i posljednjem retku tablice nalaze se srednja vrijednost i standardna devijacija kako izvornih, tako i normiranih ocjena, dobivene za svakog ispitanika.

Tablica 4.1. Primjeri različitih načina davanja ocjena te njihove normirane vrijednosti

Izvorne ocjene					Normirane ocjene				
Ispitanik 1	Ispitanik 2	Ispitanik 3	Ispitanik 4	Ispitanik 5	Ispitanik 1	Ispitanik 2	Ispitanik 3	Ispitanik 4	Ispitanik 5
2	10	1	5	3	-0,95	-0,95	-0,95	-1,22	-0,32
3	11	11	6	3	0,95	0,95	0,95	0,00	-0,32
2	10	1	7	3	-0,95	-0,95	-0,95	1,22	-0,32
3	11	11	5	3	0,95	0,95	0,95	-1,22	-0,32
2	10	1	6	3	-0,95	-0,95	-0,95	0,00	-0,32
3	11	11	7	3	0,95	0,95	0,95	1,22	-0,32
2	10	1	5	3	-0,95	-0,95	-0,95	-1,22	-0,32
3	11	11	6	3	0,95	0,95	0,95	0,00	-0,32
2	10	1	7	3	-0,95	-0,95	-0,95	1,22	-0,32
3	11	11	6	4	0,95	0,95	0,95	0,00	2,85
2,50	10,50	6,00	6,00	3,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,53	0,53	5,27	0,82	0,32	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Iz primjera pokazanog u tablici 4.1 vidljivo je da ispitanik 1 dosljedno daje ocjene sasvim blizu donje granice raspona ocjena, dok ispitanik 2 svoje ocjene koncentrira na sâmoj gornjoj granici tog raspona. Ispitanik 3 pribjegao je ekstremnom načinu davanja ocjena, a ispitanik 4 grupira svoje ocjene oko sredine raspona. Ispitanik 5 dao je jednake ocjene svim uzorcima osim posljednjeg. Normirane ocjene svih pet ispitanika, pokazane u desnom dijelu tablice, pokazuju da problemi nastali zbog ovako raznovrsnih načina ocjenjivanja mogu biti prevladani normizacijom ocjena. Naime, iako su ispitanici 1 i 2 dali svoje izvorne ocjene na sasvim različitim krajevima ljestvice ocjena, ponukani očekivanjima, raspoloženjem i sl., varijacije njihovih ocjena od uzorka do uzorka zapravo su potpuno

jednake, što zorno pokazuju i normirane ocjene dobivene za ta dva ispitanika. Nadalje, normirane ocjene ispitanika 3 pokazuju da pribjegavanje isključivo ekstremnim vrijednostima ocjena kao rezultat nemogućnosti ocjene nekog parametra u ponuđenoj gradaciji neće nužno pokvariti rezultate ispitivanja niti će prenasiglasiti određeni parametar, jer će normiranjem te ocjene pasti u vrlo uobičajeni raspon. Tako je iz tablice 4.1 vidljivo da se normirane ocjene ispitanika 3 nimalo ne razlikuju od onih dobivenih za ispitanike 1 i 2. Slično ponašanje pokazuju i normirane ocjene dobivene za ispitanika 4, koji je svoje izvorne ocjene grupirao oko sredine ponuđenog raspona ocjena. Konačno, ocjene koje je dao ispitanik 5 predstavljaju potencijalni problem iz razloga što je jedino posljednja ocjena različita od svih ostalih pa normizacijom ona poprma vrlo visoku vrijednost u odnosu na sve ostale normirane ocjene. To, međutim, može biti protumačeno na način da je ispitanik vjerojatno imao vrlo jak razlog za davanje takve ocjene, različite od svih ostalih, što se onda odražava u njezinoj normiranoj vrijednosti.

Dakle, normizacija ocjena potrebna je radi rješavanja problema koji nastaju zbog individualnog i specifičnog načina davanja ocjena karakterističnog za svakog ispitanika. No, ona je nužna i stoga jer se njome postiže usporedivost ocjena koje je dao pojedini ispitanik s ocjenama drugih ispitanika, budući da se od normalne razdiobe izvornih ocjena $N(\mu, \sigma^2)$, koja je općenito karakterizirana različitim vrijednostima srednje vrijednosti μ i standardne devijacije σ za svakog pojedinog ispitanika, dobiva nova normalna razdioba oblika $N(0,1)$.

4.3. Rezultati analize korelacije subjektivnih parametara

Jedan od ciljeva subjektivnih ispitivanja jest utvrditi način na koji ispitanici donose svoj konačan sud o svojstvima nekog uređaja koji ocjenjuju isključivo na temelju zvuka koji taj uređaj proizvodi u različitim radnim fazama svog radnog ciklusa. Osnovni statistički alat upotrijebljen za postizanje toga cilja jest korelacija, primijenjena u obliku Pearsonovog koeficijenta korelacije, ukratko opisanog u prilogu 3A.

Pearsonov koeficijent korelacije izračunat je za sve moguće parove subjektivnih parametara. Cilj ovog postupka jest utvrditi stupanj povezanosti tih parametara, kako onih koji pripadaju istoj grupi, tako i onih koji pripadaju različitim grupama parametara definiranim u odjeljku 3.2. Time se želi pokazati način na koji karakter zvuka i način na koji ispitanici doživljavaju taj zvuk utječe na njihovu prosudbu svojstava i općeg stanja

uređaja koji emitira taj zvuk. Naravno, za neke dvije, naizgled ni po čemu povezane varijable ponekad je moguće utvrditi visok stupanj korelacije, no uzrok tome redovito je postojanje jedne ili više tzv. skrivenih varijabli koje izravno utječu na obje promatrane. Međutim, područje u okviru kojeg se odvijaju ova istraživanja te način na koji je sastavljen test uvelike umanjuju mogućnost pojave takvih skrivenih varijabli. Stoga se smatra da visoki stupanj korelacije dobiven za pojedine parove varijabli, odnosno parametara nije rezultat slučajnosti ni djelovanja skrivenih varijabli, već odražava način razmišljanja ispitanika koji su dali ocjene vodeći se vlastitim smjernicama.

Korelacija svih mogućih parova parametara načinjena je ne samo za njihove prosječne vrijednosti dobivene za cijelu grupu ispitanika, već i za prosječne vrijednosti dobivene za dvije podgrupe ispitanika, iskusne i neiskusne, u koje su pojedini ispitanici svrstani prema procijenjenom iskustvu koje posjeduju. Isto tako, izračun korelacije proveden je i za svakog ispitanika posebno radi utvrđivanja razlike u načinu razmišljanja pojedinih ispitanika, uz pretpostavku visokog stupnja individualnosti. Uz pretpostavku da se način razmišljanja ispitanika nije mijenjao za vrijeme trajanja ispitivanja, u izračun korelacije uzete su ocjene dane za pojedini parametar za sve uzorke zvuka uključene u pojedino ispitivanje. Konkretnije, u ispitivanje kvalitete zvuka kružnih pila uključeno je 7 uređaja, a uzorci zvuka uzeti su i reproducirani ispitanicima za rad u praznom hodu, pod opterećenjem te zaustavljanje. To znači da je tijekom ispitivanja ispitanicima reproduciran ukupno 21 uzorak te stoga svaki parametar sadrži ukupno 21 ocjenu. Analogno tome, u ispitivanja kvalitete zvuka vibracijskih bušilica i ubodnih pila uključeno je po 6 uređaja te svaki parametar sadrži ukupno 18 ocjena. Pri ocjeni značajnosti korelacije izabrane su tri razine značajnosti, redom 10^{-2} , 10^{-3} i 10^{-4} , za koje su izračunate odgovarajuće vrijednosti koeficijenta korelacije uz zadanu veličinu uzorka, u ovom slučaju 18, odnosno 21 vrijednost. Pri izračunu ovih vrijednosti upotrijebljena je dvostrana procjena značajnosti jer se uzima u obzir da je i negativna korelacija neka dva parametra jednako važna kao i pozitivna. Dodatno, i sâm oblik testa upotrijebljenog pri ispitivanjima nalaže uporabu dvostrane procjene značajnosti jer parametri uvršteni u test već po definiciji mogu biti smatrani pozitivnima ili negativnima pa veća brojčana ocjena ne odražava nužno pozitivniji opis ili doživljaj zvuka uređaja ili uređaja sâmog. Spomenute tri razine značajnosti uzete su radi mogućnosti razlikovanja snage, odnosno važnosti korelacije pojedinih parova parametara. Vrijednosti koeficijenata korelacije izračunate uz opisane uvjete prikazane su u tablici 4.2. Radi lakšeg uočavanja povezanosti pojedinih subjektivnih parametara, u tabličnim prikazima rezultata dobivenih analizom korelacije koeficijenti

korelacije razine značajnosti 0,01 označeni su žutom bojom, oni razine značajnosti 0,001 narančastom, a oni razine značajnosti 0,0001 crvenom bojom, kako je prikazano u tablici 4.2. Koeficijenti korelacije za koje je uz razinu značajnosti od 0,01 utvrđeno da nisu statistički značajni nisu označeni bojom.

Tablica 4.2. Granične vrijednosti koeficijenta korelacije r izračunate za tri razine značajnosti uz zadani broj uzoraka N

Broj uzoraka N	Razina statističke značajnosti (dvostrano)		
	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}
18	0,590	0,708	0,789
21	0,549	0,665	0,747

Analizom subjektivnih ocjena pojedinih parametara, odnosno njihove međusobne korelacije, načinjenom za svakog pojedinog ispitanika, utvrđene su velike razlike od ispitanika do ispitanika vezane uz način formiranja mišljenja, a time i davanja ocjena. Kod nekih je ispitanika tako utvrđen jasno izražen način razmišljanja u okviru zadanih subjektivnih parametara te su sukladno tome vidljive i veze između pojedinih parametara iskazane visokim stupnjem korelacije. U velikom su broju slučajeva, nažalost, spomenutom analizom utvrđene tek nejasne naznake i vrlo slabe veze između pojedinih parametara, ostavljajući time neriješenim pitanje na koji su način ti ispitanici formirali svoje mišljenje o svojstvima uređaja koje su ocjenjivali. Uzroka tome ima više: za neke je ispitanike postavljeni zadatak bio teži nego što su očekivali pa tako nisu ni mogli formirati svoje mišljenje na nedvosmislen način koji bi bio vidljiv i iz njihovih ocjena. Moguće je i to da neki od ispitanika nisu ozbiljno shvatili postavljeni zadatak, što uvijek predstavlja određeni rizik pri provedbi subjektivnih ispitivanja. Konačno, moguće je da se neki ispitanici pri formiranju mišljenja vode kriterijima, odnosno parametrima koji nisu zadani u inicijalnom skupu parametara upotrijebljenom u testu. Ukupno gledajući, rezultati ovakve individualne analize u skladu su sa statističkim načelima prema kojima je jedno opažanje sasvim beznačajno te se iz njega ne mogu izvući konkretni zaključci. Stoga su daljnje analize provedene na razini cijele ispitne grupe koja je sudjelovala u subjektivnim ispitivanjima pojedinih tipova uređaja.

Rezultati analize korelacije subjektivnih ocjena dobivenih ispitivanjima provedenim za kružne pile prikazani su tablicama A1_1, A1_2 i A1_3 u dodatku A. Na temelju analize

provedene za cijelu grupu ispitanika utvrđeno je postojanje čvrstih veza između opisnih parametara zvuka i parametara koji odražavaju njegov doživljaj, pri čemu se opisni parametri hrapavosti, drhtavosti, stabilnosti, pucketavosti i šuštavosti zvuka nisu pokazali relevantnima s obzirom na njihov utjecaj na doživljaj zvuka. Korelacija opisnih parametara s parametrima doživljaja svojstava samih uređaja otkriva da je najviše pažnje pri ocjenjivanju posvećeno sigurnosti uređaja, na koju najviše utječe dojam glasnoće, oštine, grubosti, čistoće i prigušenosti zvuka, dok su se vrijednost, snaga i robusnost pojedinih uređaja pokazali teško odredivima. Korelacija parametara doživljaja zvuka i doživljaja uređaja, o kojoj će više riječi biti kasnije, još jednom naglašava važnost dojma sigurnosti uređaja. Glasnoća, oština, zujavost, grubost, zavijanje i zviždanje uzrokuju negativan doživljaj zvuka i ujedno stvaraju dojam opasnog uređaja, dok čistoća, jasnoća i prigušenost zvuka uzrokuju pozitivan doživljaj tog zvuka i odaju dojam sigurnosti uređaja. Nadalje, glasnoća, oština i grubost zvuka odaju dojam robusnosti i snage uređaja, dok prigušenost zvuka odaje dojam krhkosti i slabosti. Stabilnost, čistoća i jasnoća zvuka odaju kvalitetan i ispravan uređaj. Konačno, želja za kupnjom potaknuta je prije svega stabilnošću, čistoćom, jasnoćom i prigušenošću zvuka, njegovom ljepotom te sigurnošću, kvalitetom i ispravnošću uređaja, a potisnuta glasnoćom, oštrinom, zujavošću, grubošću i pucketavošću te doživljajem neugode, straha, uzbuđenosti te odbojnosti.

Analizom ocjena koje su dali samo iskusni ispitanici utvrđeno je da gotovo sve veze između parametara utvrđene za cijelu grupu postoje i u ovom slučaju, iako su slabije izražene, što se očituje nižim apsolutnim vrijednostima odgovarajućih koeficijenata korelacije. Također, parametri jasnoće i pucketavosti zvuka za iskusne ispitanike nemaju nikakvu važnost pri ocjeni doživljaja zvuka i svojstava uređaja.

Analizom ocjena neiskusnih ispitanika utvrđeno je da su i u ovom slučaju prisutne gore opisane veze između pojedinih parametara te da su te veze čak izraženije, odnosno snažnije nego kod iskusnih ispitanika, što znači da je ukupan stav cijele ispitne grupe zapravo određen mišljenjima neiskusnih ispitanika. Za razliku od iskusnih ispitanika, za neiskusne ispitanike parametri jasnoće i pucketavosti zvuka imaju veliku važnost, dok zujavost, grubost, zavijanje i zviždanje imaju mnogo jači utjecaj na doživljaj zvuka nego kod iskusnih ispitanika.

Činjenica da su ocjene neiskusnih ispitanika prevagnule i dale težinu ocjenama cijele grupe ispitanika može se objasniti time da su ručne kružne pile, po svoj prilici, najrjeđi od tri tipa uređaja uključenih u istraživanje, u smislu da su najmanje zastupljene u populaciji. Stoga je realno pretpostaviti da su se neiskusni ispitanici susretali s njima vrlo rijetko ili nikada te

su stoga rezolutno dali svoje ocjene u skladu s vlastitim općim smjernicama i idejama o tome kako bi bilo koji tip ručnog električnog alata trebao zvučati, bez detaljnijeg uvida u specifičnosti zvuka ručnih kružnih pila. S druge strane, zbog slabije zastupljenosti kružnih pila u populaciji pretpostavka je da su iskusni ispitanici imali priliku raditi samo s jednim uređajem ovog tipa i samo na temelju toga formirati smjernice kojima će se u budućnosti ravnati pri ocjenjivanju, budući da nisu ni imali mogućnosti načiniti usporedbu dva ili više uređaja i donijeti relevantniji sud. Pretpostavlja se i da su pojedini iskusni ispitanici radili s različitim modelima i markama uređaja, koji se međusobno bitno razlikuju svojim zvučnim karakteristikama, pa se stoga i reference, odnosno smjernice koje su time stekli značajno razlikuju. Stoga se u ocjenama iskusnih ispitanika odražava upravo različitost referentnih smjernica kojima su se vodili pri ocjenjivanju, što je u konačnici rezultiralo time da analiza rezultata svih iskusnih ispitanika ne otkriva izražene zajedničke smjernice.

Rezultati analize korelacije subjektivnih parametara provedene za vibracijske bušilice pokazani su u tablicama A2_1, A2_2 i A2_3 u dodatku A. Za cijelu ispitnu grupu utvrđeno je da je samo polovica definiranih opisnih parametara relevantna, i to glasnoća, oštrina, prigušenost, zujavost, grubost, zavijanje i zviždanje, dok ostali, osim stabilnosti zvuka, nemaju nikakvu važnost. Visoke vrijednosti ocjena svih spomenutih parametara osim prigušenosti izravno ukazuju na negativan doživljaj ne samo zvuka, nego i samog uređaja, dok je za prigušenost zvuka, čije je značenje u suprotnosti s ostalim spomenutim parametrima, situacija obrnuta. Nadalje, stabilnost zvuka odaje dojam skupog, kvalitetnog i, prije svega, ispravnog uređaja. O vezi između parametara doživljaja zvuka i doživljaja samog uređaja više će riječi biti kasnije, tek treba napomenuti da moć i monotonost zvuka kao parametri doživljaja zvuka nemaju nikakvu važnost. Što se tiče doživljaja samog uređaja, ispitanici su bez teškoća uspostavili vezu između spomenutih opisnih parametara zvuka i parametara doživljaja zvuka s dojmom sigurnosti, vrijednosti, kvalitete i ispravnosti uređaja, dok nisu imali uspjeha u ocjenjivanju snage i robusnosti uređaja, kod kojih nije utvrđena statistički značajna korelacija ni s jednim opisnim parametrom zvuka, kao ni s parametrima doživljaja zvuka.

Ocjene iskusnih ispitanika u ovom slučaju nose veću težinu od onih koje su dali neiskusni ispitanici te na njima počiva relevantnost ocjena cijele ispitne grupe. Svi odnosi i veze između pojedinih parametara opisani za cijelu grupu prisutni su i sada, osim što ocjena dojma vrijednosti i ispravnosti uređaja nije u tolikoj mjeri rezolutna u odnosu na cijelu grupu. Što se tiče ocjena koje su dali neiskusni ispitanici, većina je veza među parametrima

i ovdje zadržana, iako je korelacija među njima općenito slabija nego kod iskusnih ispitanika što je vidljivo već iz broja pronađenih statistički značajnih koeficijenata korelacije. Dodatno, oštrina zvuka gubi na važnosti, a ispitanici nisu bili u stanju jasno ocijeniti doživljaj privlačnosti zvuka i napetosti koju uzrokuje, kao ni dojam vrijednosti uređaja.

Rezultati analize korelacije ocjena subjektivnih parametara provedene na ubodnim pilama pokazani su u tablicama A3_1, A3_2 i A3_3 u dodatku A. Za cijelu je ispitnu grupu utvrđeno da su opisni parametri zvuka, koje se statistički značajnom korelacijom može dovesti u vezu s parametrima doživljaja zvuka i samog uređaja, redom glasnoća, oštrina, hrapavost, čistoća, prigušenost, pucketavost i grubost, dok stabilnost zvuka nema utjecaja na njegov doživljaj, ali ima na doživljaj svojstava uređaja. Od parametara doživljaja zvuka, moć i monotonost nemaju važnosti, kao i kod vibracijskih bušilica. Isto tako, najteži zadatak za ispitanike i sada je bilo ocjenjivanje robusnosti i snage uređaja, koje nisu u značajnoj korelaciji ni s jednim opisnim parametrom zvuka. Sigurnost, vrijednost, kvaliteta i ispravnost uređaja u ovom se slučaju mogu dovesti u čvrstu vezu s nabrojanim opisnim parametrima, koji u konačnici utječu i na želju za kupnjom uređaja. Od svih triju tipova uređaja obuhvaćenih ovim ispitivanjem, kod ubodnih je pila ustanovljena najčvršća veza između doživljaja zvuka i doživljaja svojstava uređaja, o čemu će biti više riječi kasnije. Valja reći i to da doživljaj zvuka utječe donekle i na dojam robusnosti uređaja, dok snaga uređaja ni sada nije dovedena u vezu ni s jednim parametrom doživljaja zvuka osim moći. Razlika u načinu ocjenjivanja iskusnih i neiskusnih korisnika najizraženija je upravo u slučaju ubodnih pila. Naime, kao i kod vibracijskih bušilica, i ovdje su iskusni ispitanici uspostavili čvrste veze između pojedinih parametara iz sve tri grupe te se može ustvrditi da ocjene neiskusnih ispitanika narušavaju čvrstoću tih veza koju su svojim ocjenama iskazali iskusni ispitanici. Spomenutu tezu potvrđuje broj utvrđenih statistički značajnih koeficijenata korelacije te njihova značajnost, koji su najveći upravo za podgrupu iskusnih ispitanika, zatim slijede rezultati cijele ispitne grupe, a tek onda rezultati podgrupe neiskusnih ispitanika. Iskusnim ispitanicima stabilnost zvuka postaje važan parametar te su, općenito govoreći, mnogo rezolutnije od onih neiskusnih ocijenili sva svojstva uređaja osim njihove snage.

4.4. Rezultati analize varijance (ANOVA) i Tukeyevih testova

Pri analizi rezultata subjektivnih ispitivanja, jedan od ciljeva jest utvrditi jesu li razlike pojedinih aspekata zvučne slike uređaja istog tipa dovoljno velike da ih ispitanici prepoznaju i zauzmu jasan stav o tim razlikama koji se odražava u ocjenama odgovarajućih subjektivnih parametara. Za utvrđivanje postojanja takvih značajnih razlika upotrebljava se analiza varijance (ANOVA), ukratko opisana u prilogu 3B.

ANOVA testovi napravljeni su za parametre koji opisuju doživljaj zvuka uređaja te svojstva sâmog uređaja, kako za sve ispitanike, tako i za podgrupe koje čine iskusni, odnosno neiskusni ispitanici. Nadalje, testovi su načinjeni posebno za svaku radnu fazu uređaja, redom za rad uređaja u praznom hodu, pod opterećenjem te pri zaustavljanju. Nalaženjem srednje vrijednosti ocjena svakog parametra dobivenih za pojedine radne faze određenog uređaja dobivene su prosječne ukupne ocjene svakog parametra za taj uređaj te su i na njima provedeni ANOVA testovi. Time su testovi provedeni za 15 subjektivnih parametara za četiri različita slučaja, što čini ukupno 60 testova, kako za cijelu ispitnu grupu, tako i za podgrupe iskusnih i neiskusnih ispitanika za svaki od tri tipa uređaja.

Relevantnost ANOVA testova, ali i korelacijske analize ovisi prvenstveno o izboru zvukova uređaja koji su prezentirani ispitanicima pri provedbi subjektivnih ispitivanja. Naime, ukoliko zvukovi izabranih uređaja zvuče vrlo slično ili gotovo identično, ta se sličnost odražava u ocjenama kojima su ispitanici ocijenili te zvukove te tada ANOVA testovi ne daju značajne rezultate jer u tom slučaju nije moguće utvrditi postojanje značajnih razlika između pojedinih zvukova u cijelom skupu. Ako, pak, postoji barem jedan uređaj čiji se zvuk čujno razlikuje od zvuka ostalih uređaja, tada se ocjene pojedinih subjektivnih parametara toga zvuka također značajno razlikuju od ocjena tih parametara dânih za ostale zvukove, što znači da će ANOVA testovi u ovom slučaju davati statistički značajne rezultate. Svrha ANOVA testova jest pokazati da postoji značajna razlika između srednjih vrijednosti ocjena pojedinih parametara dânih za zvuk barem jednog uređaja od srednjih vrijednosti ocjena tih parametara dânih za zvuk barem jednog od preostalih uređaja. Koje se srednje vrijednosti značajno razlikuju, utvrđuje se testom usporedbe parova, o čemu će više riječi biti u nastavku.

Pri provedbi ANOVA testova na konkretnim rezultatima provedenih subjektivnih ispitivanja, izabrana je razina značajnosti od 0,05. No, budući da su testovima dobivene p -vrijednosti koje se spuštaju sve do 10^{-50} , definirane su dvije grupe statistički značajnih

ANOVA testova koje razdvaja granična vrijednost $p = 10^{-4}$. Pritom su svi statistički značajni testovi čija je p -vrijednost veća od 10^{-4} i manja od gore spomenutih 0,05 svrstani u grupu manje relevantnih, dok su oni testovi čija je p -vrijednost manja od 10^{-4} svrstani u grupu relevantnijih. Dakle, čujne razlike koje postoje između zvukova pojedinih uređaja odražavaju se prije svega brojem statistički značajnih testova i njihovom relevantnošću definiranom na opisan način. Rezultati ANOVA testova slažu se s rezultatima analize korelacije, u smislu da potvrđuju relevantnost pojedinih subjektivnih parametara za opis zvučne slike uređaja. Sumarni rezultati provedene analize varijance pokazani su u tablicama A4, A5 i A6 u dodatku A, s tim da je u tablicama brojkom 1 označen relevantan, a brojkom -1 manje relevantan test, pri čemu su testovi svrstani u jednu od te dvije kategorije prema opisanom kriteriju. Prazno mjesto u tablici označava da konkretan test nije statistički značajan.

Rezultati analize statističke značajnosti ANOVA testova provedenih na subjektivnim ocjenama zvukova ručnih kružnih pila prikazani su tablicom A4 u dodatku A. Rezultati potvrđuju da ispitanici najteže razlikuju kvalitetu, vrijednost i ispravnost uređaja, u skladu s rezultatima analize korelacije. Samo djelomičan uspjeh ispitanici su imali pri razlikovanju moći, privlačnosti i monotonosti zvuka te robusnosti i snage uređaja te doživljaja ljepote, straha, uzbuđenosti i napetosti koje izaziva njegov zvuk. Konačno, postojanje vrlo jasnih razlika između zvukova uređaja pokazuje se iz testova provedenih na ocjenama sigurnosti uređaja te neugodi i odbojnosti zvuka. Nadalje, postojanje razlika u zvuku pojedinih uređaja najjasnije pokazuju testovi provedeni za cijelu grupu ispitanika, koja je ostvarila najveći broj statistički značajnih testova. Kako je vidljivo iz tablice pokazane u prilogu, dvije trećine od ukupnog broja testova svrstane su u kategoriju relevantnih. Dodatno, činjenica koja je već utvrđena analizom korelacije, a to je veći uspjeh neiskusnih ispitanika u odnosu na iskusne, potvrđena je i ANOVA testovima. Spomenuta tablica jasno pokazuje da su neiskusni ispitanici ostvarili veći broj statistički značajnih testova od iskusnih te gotovo jednak broj relevantnih i manje relevantnih testova. Nasuprot tome, broj relevantnih testova za iskusne je ispitanike daleko manji od broja onih manje relevantnih. Izneseni podaci podupiru ranije donesen zaključak da u slučaju kružnih pila neiskusni ispitanici jasnije izražavaju svoje mišljenje te upravo njihove ocjene nose težinu cijele ispitne grupe. Promatranjem broja statistički značajnih testova po radnim fazama ustanovljeno je da faza zaustavljanja uređaja pruža najviše informacija, što je potkrijepljeno najvećim brojem statistički značajnih testova upravo za tu radnu fazu.

Nasuprot tome, rad pod opterećenjem daje najmanje informacija, što se odražava u najmanjem broju statistički značajnih testova. Dodatno, utvrđeno je da se spomenuta razlika krije upravo u broju relevantnih testova, dok je broj manje relevantnih testova podjednak za sve tri radne faze. Mogući razlog ovome jest činjenica da se vrijeme zaustavljanja kružnih pila uključenih u istraživanje kreće u širokim granicama, što je izravno povezano s velikim razlikama u njihovoj veličini i snazi te, sukladno tome, i veličini i masi radnog elementa uređaja. Dodatno, već je rečeno da je pri zaustavljanju cjelokupni elektromehanički sustav uređaja pobuđen širokopojasnom pobudom, koja otkriva slabosti koje nisu uočljive pri radu u praznom hodu ili pod opterećenjem, dakle, pri radu stalnom brzinom vrtnje. Pri radu pod opterećenjem dominira zvuk proizveden kontaktom radnog dijela uređaja s materijalom, koji se vrlo malo razlikuje od uređaja do uređaja, dijelom i zato jer je pri uzimanju uzoraka zvuka posebna pažnja posvećena tome da rezovi budu načinjeni uvijek na istom komadu materijala ugrađenom uvijek na isti način.

U tablici A5 u dodatku A prikazani su rezultati ANOVA testova primijenjenih na rezultate subjektivnih ispitivanja provedenih za vibracijske bušilice. Utvrđeno je da su ispitanici svojim ocjenama svrstali parametre doživljaja zvuka i doživljaja uređaja u dvije grupe. U prvoj se grupi nalaze parametri za koje ispitanici nisu bili u stanju utvrditi postojanje značajnih razlika među uređajima, odnosno njihovim zvukovima. Tako ispitanici nisu zamijetili značajne razlike u dojmu robusnosti uređaja te u doživljaju moći i monotonosti njihovih zvukova, dok vrlo teško razlikuju dojam vrijednosti i snage uređaja, što je vidljivo iz malog broja statistički značajnih ANOVA testova za te parametre, redom iz grupe manje relevantnih. S druge strane, ispitanici su uočili postojanje jasnih razlika svih preostalih parametara, s tim da od parametara doživljaja zvuka najjasnije razlikuju neugodu i odbojnost zvuka, za koje su se svi provedeni testovi pokazali statistički značajnima te relevantnima po opisanom kriteriju. Od parametara doživljaja uređaja ispitanici najjasnije naglašavaju razlike u dojmu sigurnosti uređaja, dok nešto slabije razlikuju kvalitetu i ispravnost uređaja. Nadalje, testovi pokazuju da najbolji učinak ima cijela grupa ispitanika s najvećim brojem statistički značajnih testova, ali i najvišim udjelom relevantnih testova. Zatim slijedi podgrupa iskusnih ispitanika s tek nešto manjim ukupnim brojem statistički značajnih testova i sličnim postotkom relevantnih testova. Najveću nesigurnost iskazali su neiskusni ispitanici, i to ne toliko ukupnim brojem statistički značajnih testova, koliko bitno višim udjelom manje relevantnih testova. Promotrimo li broj statistički značajnih

testova po pojedinim radnim fazama uređaja, najveći broj statistički značajnih testova utvrđen je za prazan hod, a najmanji za zaustavljanje, uz sličan postotak relevantnih testova. Rad pod opterećenjem ocijenjen je s manje sigurnosti nego preostale dvije radne faze, što je vidljivo iz povećanog postotka manje relevantnih testova, iako se ukupan broj statistički značajnih testova vrlo malo razlikuje od onih određenih za prazan hod i za zaustavljanje. Dobiveni rezultati u potpunosti se poklapaju s rezultatima analize korelacije, u smislu da je za relevantne parametre koji statistički značajno koreliraju s većim brojem drugih parametara utvrđen i veći broj statistički značajnih ANOVA testova. Vrijedi i obrnuto; parametri koji se korelacijskom analizom nisu pokazali relevantnima, u smislu da je za njih utvrđen vrlo mali broj statistički značajnih koeficijenata korelacije s drugim parametrima, nisu dokazali svoju relevantnost ni ANOVA testovima. Evidentno je, dakle, da određeni subjektivni parametri mogu biti uklonjeni iz skupa svih definiranih parametara bez štete po ukupni proces ocjenjivanja zbog toga što ispitanici slušajući zvukove uređaja nisu mogli utvrditi značajne razlike u vrijednostima tih parametara za pojedine uređaje, što se odrazilo i na dâne ocjene.

Analizom ocjena subjektivnih parametara dobivenih za ubodne pile pomoću ANOVA testova, čiji su rezultati pokazani u tablici A6 u dodatku A, utvrđeno je da je način razmišljanja kojim su se ispitanici vodili pri davanju ocjena sličan onome primijenjenom kod vibracijskih bušilica. Konkretno, i u ovom su se slučaju parametri koji opisuju doživljaj monotonosti, odnosno moći zvuka pokazali nevažnima s obzirom na mali za njih utvrđeni broj statistički značajnih ANOVA testova. Isto tako, ispitanici pokazuju nesigurnost pri razlikovanju dojmova snage i robusnosti uređaja, dok iskazuju postojanje jasnih razlika u vrijednostima preostalih parametara za pojedine uređaje. Pritom valja naglasiti da ocjene ispitanika u ovom slučaju nisu rezolutne u mjeri utvrđenoj kod vibracijskih bušilica, što je vidljivo iz činjenice da je u slučaju ubodnih pila povećan udio manje relevantnih testova u odnosu na vibracijske bušilice, iako je ukupan broj statistički značajnih testova za pojedine parametre praktički jednak onome utvrđenom za iste parametre u slučaju vibracijskih bušilica. Jedini parametar kod kojeg su svi ANOVA testovi ne samo statistički značajni, već i relevantni po prije opisanom kriteriju, jest doživljaj neugode zvuka. Postojanje razlika u zvuku, a time i doživljaju pojedinih uređaja i njihovog zvuka najjasnije se iskazuje testovima načinjenim na rezultatima cijele ispitne grupe, kod koje je utvrđen najveći broj statistički značajnih testova i daleko najveći udio relevantnih testova. Za podgrupu iskusnih ispitanika utvrđen je jednaki ukupni broj

statistički značajnih testova kao i za cijelu ispitnu grupu, uz povećan udio manje relevantnih testova, dok je za podgrupu neiskusnih ispitanika ukupni broj statistički značajnih testova manji nego za prethodne dvije skupine, i, što je važnije, broj manje relevantnih testova nadmašuje broj relevantnih. Zaključak koji se nameće jest da i u slučaju ubodnih pila, kao i kod vibracijskih bušilica, najveću težinu imaju ocjene iskusnih ispitanika. Promatrano po radnim fazama, najviše informacija o razlikama među pojedinim uređajima nosi zaustavljanje, kod kojeg je utvrđen ne samo najveći broj statistički značajnih testova, nego i najveći postotak relevantnih. Za prazan hod i rad pod opterećenjem utvrđeni su gotovo jednaki ukupni brojevi statistički značajnih testova, i to manji nego za zaustavljanje, ali kod praznog hoda dominiraju relevantni testovi, dok je njihov udio pri radu pod opterećenjem vrlo nizak. Zaključuje se da je i sada upravo radna faza zaustavljanja ključna za prepoznavanje razlika među pojedinim uređajima, čak u većoj mjeri nego što je to utvrđeno kod kružnih pila. Razlog tome je specifičnost elektromehaničkog sustava ubodnih pila kod kojeg se osim kružnog gibanja koristi i pravocrtno gibanje radnog elementa uređaja. Pri zaustavljanju je taj sustav širokopojasno pobuđen i odziv na takvu pobudu upravo onog njegovog dijela koji se giba pravocrtno ima važnu ulogu pri ocjeni parametara doživljaja zvuka i svojstava uređaja. Količina korisne informacije koju nosi zvuk uređaja u radu pod opterećenjem najmanja je u usporedbi s ostale dvije faze iz istog razloga kao i kod kružnih pila. Naime, i u ovom je slučaju upravo zvuk proizveden kontaktom radnog elementa uređaja i materijala koji se obrađuje dominantan u cjelokupnoj zvučnoj slici uređaja te je, kao i kod ostalih tipova uređaja, posebna pažnja posvećena tome da uzorci zvuka svih uređaja pri radu pod opterećenjem budu uzeti u što je moguće sličnijim uvjetima, vezano uz položaj i način učvršćenja materijala koji se obrađuje.

Iz statistički značajnog rezultata ANOVA testa nakon kojeg slijedi odbacivanje početne hipoteze da su sve srednje vrijednosti jednake moguće je zaključiti samo to da se srednja vrijednost barem jedne populacije značajno razlikuje od srednje vrijednosti barem jedne od preostalih populacija iz kojih su uzeti uzorci, no, nažalost, ne postoji nikakva indikacija o tome koje se srednje vrijednosti značajno razlikuju. Zbog toga se kao dodatak ANOVA testu provode testovi usporedbe parova srednjih vrijednosti upravo radi rješavanja gore opisanog problema, odnosno pronalaženja onih parova srednjih vrijednosti čija je razlika statistički značajna.

Postoji više vrsta ovakvih testova, a za konkretnu primjenu odabrani su Tukeyevi testovi ukratko opisani u prilogu 3C. Tukeyevi testovi napravljeni su za isti skup podataka kao i ANOVA testovi, dakle, za ocjene subjektivnih parametara doživljaja zvuka i doživljaja sâmog uređaja, i to posebno za rad u praznom hodu, pod opterećenjem te u zaustavljanju, kao i za prosječnu ocjenu svakog parametra dobivenu kao srednju vrijednost prethodne tri. Valja spomenuti da su Tukeyevi testovi provedeni za sve moguće slučajeve bez obzira na rezultate ANOVA testova, iako bi bilo dovoljno provesti ih samo za one slučajeve u kojima se rezultat ANOVA testa pokazao statistički značajnim. No, testovi su ipak provedeni za sve moguće slučajeve upravo u želji da se potvrde rezultati ANOVA testova. Sumarni rezultati Tukeyevih testova pokazuju da se unutar skupa uređaja istog tipa redovito ističu oni čija se zvučna slika čujno razlikuje od zvučnih slika ostalih uređaja istog tipa. Aspekti zvučne slike koji pritom imaju najveći utjecaj na odluku ispitanika opisani su odgovarajućim subjektivnim parametrima čija je relevantnost utvrđena analizom korelacije, pri čemu dominiraju glasnoća i oštrina zvuka te količina čujnog kolebanja, odnosno promjena u amplitudnoj strukturi signala. Usporedbom rezultata testova provedenih za pojedine radne faze uređaja utvrđeno je da se za pojedine tipove uređaja svojom zvučnom slikom kao značajno bolji ili lošiji od ostalih uređaja nisu izdvojili uvijek isti primjerci uređaja. Drugim riječima, uređaji koji su na osnovi zvučne slike pri radu u praznom hodu ili pod opterećenjem ocijenjeni kao značajno bolji od ostalih uređaja nerijetko su na osnovi zvučne slike pri zaustavljanju proglašavani tek prosječnima ili značajno lošijima od ostalih uređaja. Dobiveni rezultati dodatan su argument za uvrštavanje zvuka uređaja koji oni proizvode pri zaustavljanju u postupak akustičke karakterizacije.

4.5. Povezanost doživljaja zvuka i doživljaja svojstava uređaja

Veza, odnosno utjecaj doživljaja zvuka nekog uređaja na doživljaj svojstava sâmog uređaja procjenjuje se analizom povezanosti, odnosno korelacije parametara koji opisuju doživljaj zvuka s parametrima koji opisuju doživljaj uređaja.

U tablicama 4.3, 4.4 i 4.5 prikazan je dio rezultata analize korelacije koji se odnosi na izračunate koeficijente korelacije između parametara doživljaja zvuka i parametara svojstava uređaja za sva tri tipa uređaja uključena u istraživanje.

Tablica 4.3. Koeficijenti korelacije parametara doživljaja zvuka i doživljaja uređaja izračunati za sve tri radne faze u radu ručnih kružnih pila za sve ispitanike

	opasan / siguran	robustan / krhak	jeftin / skup	snažan / slab	kvalitetan / nekvalitetan	neispravan / ispravan	želja za kupnjom
neugodan	-0,903	-0,593	0,167	-0,563	0,330	-0,312	-0,582
lijep	0,881	0,398	0,015	0,416	-0,460	0,454	0,719
zastašujuć	-0,931	-0,662	0,139	-0,647	0,339	-0,352	-0,605
moćan	-0,462	-0,888	0,624	-0,863	-0,217	0,200	0,075
uzbunjujuć	-0,934	-0,554	0,021	-0,593	0,428	-0,467	-0,624
privlačan	0,832	0,326	0,022	0,324	-0,400	0,401	0,611
monoton	-0,125	-0,277	0,503	-0,184	-0,401	0,373	0,139
odbojan	-0,931	-0,529	0,098	-0,516	0,356	-0,374	-0,662
napet	-0,890	-0,725	0,264	-0,717	0,233	-0,223	-0,492

Tablica 4.4. Koeficijenti korelacije parametara doživljaja zvuka i doživljaja uređaja izračunati za sve tri radne faze u radu vibracijskih bušilica za sve ispitanike

	opasan / siguran	robustan / krhak	jeftin / skup	snažan / slab	kvalitetan / nekvalitetan	neispravan / ispravan	želja za kupnjom
neugodan	-0,972	0,570	-0,828	-0,114	0,954	-0,879	-0,960
lijep	0,943	-0,415	0,730	0,276	-0,876	0,798	0,906
zastašujuć	-0,948	0,458	-0,776	-0,251	0,901	-0,836	-0,950
moćan	-0,009	-0,546	0,444	-0,571	-0,210	0,071	0,108
uzbunjujuć	-0,969	0,538	-0,809	-0,147	0,940	-0,904	-0,956
privlačan	0,896	-0,528	0,774	0,145	-0,861	0,735	0,852
monoton	0,152	0,268	-0,006	0,419	-0,102	0,268	0,171
odbojan	-0,962	0,567	-0,849	-0,089	0,964	-0,894	-0,961
napet	-0,941	0,567	-0,809	-0,108	0,914	-0,865	-0,865

Tablica 4.5. Koeficijenti korelacije parametara doživljaja zvuka i doživljaja uređaja izračunati za sve tri radne faze u radu ubodnih pila za sve ispitanike

	opasan / siguran	robustan / krhak	jeftin / skup	snažan / slab	kvalitetan / nekvalitetan	neispravan / ispravan	želja za kupnjom
neugodan	-0,954	0,605	-0,862	0,509	0,894	-0,814	-0,937
lijep	0,963	-0,652	0,899	-0,558	-0,928	0,832	0,959
zastašujuć	-0,951	0,510	-0,838	0,342	0,864	-0,793	-0,896
moćan	0,545	-0,826	0,572	-0,795	-0,613	0,699	0,573
uzbunjujuć	-0,967	0,649	-0,860	0,460	0,907	-0,874	-0,913
privlačan	0,948	-0,636	0,884	-0,542	-0,930	0,866	0,923
monoton	-0,008	-0,103	-0,084	-0,051	0,072	0,006	-0,022
odbojan	-0,942	0,606	-0,866	0,522	0,918	-0,844	-0,940
napet	-0,862	0,595	-0,716	0,547	0,768	-0,713	-0,713

Iz svih triju tablica vidljivo je da nedvojbeno postoji snažna korelacija između pojedinih parametara doživljaja zvuka i parametara doživljaja svojstava samog uređaja. Pritom je broj i značajnost statistički značajnih koeficijenata korelacije utvrđenih za pojedini tip uređaja u izravnoj vezi s procijenjenim iskustvom ispitanika koji su sudjelovali u

ispitivanju, a koje oni imaju u radu s tim tipom uređaja. No, valja naglasiti da rezultati ovakve analize ovise i o izboru uređaja, odnosno uzoraka njihovog zvuka koji će biti prezentirani pri provedbi subjektivnih ispitivanja. Stoga se pri provedbi subjektivnih ispitivanja nastoji izabrati što širi dijapazon zvukova, odnosno uređaja koji ih proizvode, vodeći računa o najvećem prihvatljivom broju uređaja koji mogu biti uključeni u ispitivanje. Nadalje, iako su statistički značajni koeficijenti korelacije svrstani u tri grupe, ovisno o razini značajnosti, iz tablica je vidljivo da apsolutne vrijednosti koeficijenta korelacije nerijetko premašuju vrijednost 0,85, pa čak i 0,90. Uz broj uzoraka iskazan u tablici 4.2 vjerojatnost dobivanja takvih vrijednosti koeficijenta korelacije pada ispod 10^{-6} , odnosno 10^{-7} , uz pretpostavku da su dvije varijable slučajne. Dakle, jasno je da veza između pojedinih parametara doživljaja zvuka i doživljaja uređaja nije slučajna.

Međutim, zaključke o uzrocima povezanosti doživljaja zvuka i doživljaja svojstava uređaja nije uputno donositi isključivo na temelju koeficijenata korelacije između parametara definiranih radi vrednovanja toga doživljaja, prikazanih u tablicama 4.3, 4.4 i 4.5. Naime, prikazani koeficijenti korelacije sâmi za sebe ne predstavljaju potpunu informaciju jer iz njih nije moguće utvrditi radi li se o izravnoj uzročno-posljedičnoj vezi dvaju parametara ili postoji jedan ili više skrivenih faktora koji utječu na oba parametra čija je korelacija tada jaka upravo zbog utjecaja tih faktora. Stoga su u tablicama 4.6 – 4.11 prikazani koeficijenti korelacije izračunati radi utvrđivanja povezanosti opisnih parametara zvuka s parametrima iz preostale dvije grupe, doživljaja zvuka i doživljaja svojstava uređaja.

Tablica 4.6. Koeficijenti korelacije opisnih parametara zvuka i parametara doživljaja zvuka izračunati za sve tri radne faze u radu ručnih kružnih pila za sve ispitanike

	neugodan	lijep	zastrašujuć	moćan	uzbudujuć	privlačan	monoton	odbojan	napet
glasan	0,859	-0,844	0,875	0,737	0,803	-0,661	0,168	0,800	0,861
oštar	0,892	-0,835	0,899	0,727	0,821	-0,615	0,196	0,841	0,890
hrapav	0,321	-0,507	0,480	0,329	0,347	-0,227	-0,176	0,401	0,364
stabilan	-0,273	0,425	-0,375	-0,090	-0,448	0,162	0,691	-0,260	-0,261
čist	-0,652	0,799	-0,728	-0,372	-0,690	0,627	0,143	-0,676	-0,570
drhtav	0,327	-0,432	0,444	0,295	0,479	-0,095	-0,499	0,308	0,331
prigušen	-0,852	0,916	-0,854	-0,698	-0,808	0,698	-0,154	-0,808	-0,856
pucketav	0,383	-0,566	0,483	-0,130	0,471	-0,437	-0,154	0,539	0,292
šuštav	0,411	-0,441	0,303	0,063	0,205	-0,660	0,705	0,481	0,304
jasan	-0,587	0,721	-0,639	-0,262	-0,634	0,564	0,093	-0,608	-0,491
zujav	0,748	-0,724	0,699	0,467	0,674	-0,591	0,256	0,723	0,749
grub	0,797	-0,755	0,895	0,731	0,817	-0,505	-0,055	0,742	0,804
zavijajući	0,653	-0,576	0,625	0,520	0,611	-0,370	-0,171	0,513	0,647
zviždeći	0,780	-0,668	0,709	0,567	0,719	-0,583	0,173	0,685	0,798

Tablica 4.7. Koeficijenti korelacije opisnih parametara zvuka i parametara doživljaja uređaja izračunati za sve tri radne faze u radu ručnih kružnih pila za sve ispitanike

	opasan / siguran	robustan / krhak	jeftin / skup	snažan / slab	kvalitetan / nekvalitetan	neispravan / ispravan	želja za kupnjom
glasan	-0,828	-0,720	0,217	-0,802	0,316	-0,357	-0,595
oštar	-0,815	-0,642	0,215	-0,666	0,308	-0,330	-0,637
hrapav	-0,461	-0,348	-0,041	-0,481	0,284	-0,374	-0,488
stabilan	0,505	0,009	0,533	0,096	-0,661	0,740	0,609
čist	0,784	0,312	0,190	0,452	-0,577	0,657	0,711
drhtav	-0,496	-0,128	-0,457	-0,205	0,608	-0,692	-0,549
prigušen	0,844	0,629	-0,178	0,733	-0,300	0,355	0,599
pucketav	-0,589	0,128	-0,545	-0,009	0,757	-0,778	-0,841
šuštav	-0,269	-0,140	0,312	-0,203	-0,085	0,141	-0,148
jasan	0,663	0,260	0,230	0,349	-0,636	0,674	0,685
zujav	-0,727	-0,326	-0,020	-0,306	0,382	-0,400	-0,566
grub	-0,803	-0,715	0,147	-0,661	0,314	-0,386	-0,563
zavijajući	-0,617	-0,381	-0,046	-0,282	0,331	-0,307	-0,474
zviždeći	-0,717	-0,432	0,074	-0,353	0,244	-0,222	-0,443

Tablica 4.8. Koeficijenti korelacije opisnih parametara zvuka i parametara doživljaja zvuka izračunati za sve tri radne faze u radu vibracijskih bušilica za sve ispitanike

	neugodan	lijep	zastrašujuć	moćan	uzbunjujuć	privlačan	monoton	odbojan	napet
glasan	0,857	-0,905	0,845	0,012	0,849	-0,942	-0,125	0,842	0,819
oštar	0,862	-0,852	0,840	-0,125	0,826	-0,919	0,044	0,815	0,795
hrapav	-0,423	0,403	-0,449	0,013	-0,408	0,341	0,461	-0,406	-0,332
stabilan	-0,480	0,485	-0,510	-0,022	-0,592	0,335	0,638	-0,553	-0,494
čist	-0,433	0,189	-0,413	0,013	-0,393	0,248	-0,247	-0,506	-0,468
drhtav	0,158	-0,054	0,200	-0,102	0,265	0,010	-0,242	0,272	0,280
prigušen	-0,874	0,901	-0,870	0,029	-0,850	0,908	0,032	-0,850	-0,828
pucketav	0,157	-0,146	0,218	0,222	0,144	-0,144	-0,414	0,154	0,109
šuštav	-0,168	0,190	-0,266	-0,052	-0,298	-0,005	0,674	-0,227	-0,202
jasan	-0,239	0,106	-0,195	0,185	-0,231	0,287	-0,386	-0,304	-0,298
zujav	0,892	-0,810	0,851	-0,045	0,886	-0,783	-0,123	0,880	0,878
grub	0,818	-0,790	0,858	0,111	0,835	-0,717	-0,048	0,855	0,862
zavijajući	0,852	-0,808	0,842	0,025	0,877	-0,746	-0,359	0,876	0,825
zviždeći	0,945	-0,909	0,923	-0,002	0,935	-0,854	-0,270	0,942	0,874

Tablica 4.9. Koeficijenti korelacije opisnih parametara zvuka i parametara doživljaja uređaja izračunati za sve tri radne faze u radu vibracijskih bušilica za sve ispitanike

	opasan / siguran	robustan / krhak	jeftin / skup	snažan / slab	kvalitetan / nekvalitetan	neispravan / ispravan	želja za kupnjom
glasan	-0,867	0,553	-0,704	-0,104	0,806	-0,688	-0,839
oštar	-0,839	0,553	-0,778	-0,078	0,812	-0,718	-0,819
hrapav	0,378	-0,238	0,447	0,004	-0,461	0,506	0,453
stabilan	0,511	-0,259	0,613	-0,083	-0,654	0,715	0,543
čist	0,416	-0,075	0,319	0,033	-0,458	0,383	0,428
drhtav	-0,140	0,212	-0,459	0,299	0,348	-0,382	-0,240
prigušen	0,904	-0,514	0,724	0,093	-0,800	0,750	0,878
pucketav	-0,041	-0,344	-0,029	-0,376	0,091	-0,088	-0,146
šuštav	0,215	-0,202	0,367	-0,061	-0,358	0,451	0,332
jasan	0,176	-0,364	0,243	-0,216	-0,316	0,114	0,215
zujav	-0,844	0,506	-0,699	0,082	0,799	-0,834	-0,885
grub	-0,804	0,384	-0,665	-0,168	0,758	-0,694	-0,820
zavijajući	-0,831	0,506	-0,778	0,058	0,874	-0,896	-0,874
zviždeći	-0,918	0,495	-0,794	-0,055	0,907	-0,911	-0,936

Tablica 4.10. Koeficijenti korelacije opisnih parametara zvuka i parametara doživljaja zvuka izračunati za sve tri radne faze u radu ubodnih pila za sve ispitanike

	neugodan	lijep	zastrašujući	moćan	uzbunjujuć	privlačan	monoton	odbojan	napet
glasan	0,903	-0,908	0,908	-0,279	0,854	-0,890	-0,013	0,856	0,817
oštar	0,890	-0,850	0,834	-0,197	0,801	-0,867	0,149	0,839	0,802
hrapav	0,670	-0,717	0,720	-0,133	0,600	-0,726	0,186	0,695	0,436
stabilan	-0,460	0,582	-0,571	0,530	-0,498	0,519	0,460	-0,449	-0,370
čist	-0,821	0,864	-0,797	0,334	-0,753	0,868	-0,200	-0,816	-0,677
drhtav	0,506	-0,606	0,577	-0,211	0,458	-0,579	0,139	0,555	0,297
prigušen	-0,915	0,909	-0,891	0,350	-0,865	0,887	0,053	-0,861	-0,859
pucketav	0,822	-0,831	0,840	-0,278	0,767	-0,825	0,110	0,820	0,646
šuštav	-0,174	0,221	-0,265	0,405	-0,216	0,144	0,505	-0,185	-0,144
jasan	-0,454	0,537	-0,454	-0,014	-0,373	0,531	-0,268	-0,430	-0,322
zujav	0,429	-0,433	0,259	-0,377	0,330	-0,405	-0,029	0,423	0,576
grub	0,775	-0,813	0,843	-0,146	0,714	-0,807	0,093	0,767	0,576
zavijajući	0,226	-0,210	0,083	-0,487	0,184	-0,164	-0,462	0,160	0,496
zviždeći	0,250	-0,270	0,122	-0,468	0,162	-0,186	-0,429	0,238	0,457

Tablica 4.11. Koeficijenti korelacije opisnih parametara zvuka i parametara doživljaja uređaja izračunati za sve tri radne faze u radu ubodnih pila za sve ispitanike

	opasan / siguran	robustan / krhak	jeftin / skup	snažan / slab	kvalitetan / nekvalitetan	neispravan / ispravan	želja za kupnjom
glasan	-0,883	0,427	-0,778	0,306	0,803	-0,678	-0,848
oštar	-0,806	0,385	-0,725	0,318	0,724	-0,634	-0,763
hrapav	-0,671	0,450	-0,738	0,373	0,732	-0,647	-0,744
stabilan	0,580	-0,542	0,669	-0,479	-0,661	0,650	0,609
čist	0,809	-0,579	0,839	-0,463	-0,864	0,781	0,839
drhtav	-0,576	0,390	-0,713	0,382	0,689	-0,572	-0,661
prigušen	0,887	-0,450	0,747	-0,316	-0,793	0,680	0,842
pucketav	-0,828	0,486	-0,817	0,421	0,773	-0,712	-0,795
šuštav	0,271	-0,322	0,314	-0,334	-0,307	0,314	0,377
jasan	0,419	-0,257	0,508	-0,132	-0,490	0,386	0,404
zujav	-0,363	0,231	-0,307	0,269	0,351	-0,298	-0,347
grub	-0,772	0,397	-0,767	0,332	0,770	-0,642	-0,802
zavijajući	-0,160	0,188	-0,027	0,295	0,107	-0,125	-0,148
zviždeći	-0,196	0,158	-0,071	0,237	0,163	-0,155	-0,218

Iz prikazanih se tablica vidi da je početna teza o nepotpunosti informacije koju nose koeficijenti korelacije izračunati između parametara iz grupe doživljaja zvuka i grupe doživljaja svojstava uređaja bila ispravna. Naime, na sâmom početku ovih istraživanja, forma subjektivnih ispitivanja i oblik testova koji su u njima uporabljeni definirani su uz pretpostavku da će upravo karakter zvuka nekog uređaja, opisan opisnim subjektivnim parametrima, utjecati ne samo na doživljaj zvuka tog uređaja, već i na doživljaj sâmog uređaja. Zbog toga su parametri uvršteni u test i podijeljeni u tri strogo definirane grupe kako bi bilo moguće istražiti međusobne odnose pojedinih grupa parametara. Isto tako, u sâmom su testu ispitanicima postavljena odgovarajuća pitanja kojima im je na jasan način dâno do znanja o kakvim se parametrima radi.

Jasno je da je tek promatranjem međudnosa, odnosno povezanosti parametara svih triju grupa moguće donijeti valjane i relevantne zaključke o povezanosti doživljaja zvuka i doživljaja svojstava uređaja. Naime, analizom koeficijenata korelacije parametara opisa zvuka s parametrima doživljaja zvuka i doživljaja svojstava uređaja utvrđena je jaka korelacija pojedinih opisnih parametara zvuka s pojedinim parametrima doživljaja zvuka i doživljaja svojstava sâmog uređaja. Rezultati analize jasno ukazuju na činjenicu da je način na koji ispitanici doživljavaju zvuk nekog uređaja i svojstava sâmog uređaja uvjetovan točno određenim karakteristikama zvuka opisanim odgovarajućim opisnim parametrima. Naročito je to vidljivo iz rezultata analize provedene za ubodne pile i vibracijske bušilice, kod kojih isti opisni parametri izravno utječu i na doživljaj zvuka i na

doživljaj uređaja, dok preostali parametri nemaju gotovo nikakvu važnost. Kod ručnih kružnih pila moguće je utvrditi da u najvećem broju slučajeva opisni parametri koji imaju slab utjecaj na doživljaj zvuka nemaju mnogo utjecaja ni na doživljaj svojstava uređaja i obrnuto. Vidljivo je da u slučaju kružnih pila stavovi i način razmišljanja ispitanika nisu rezolutni u mjeri iskazanoj kod ubodnih pila i vibracijskih bušilica, a uzrok tome manjak iskustva ispitanika u radu s ručnim kružnim pilama u odnosu na preostala dva tipa uređaja. Zaključujemo da veza između doživljaja zvuka i doživljaja svojstava sâmog uređaja nedvojbeno postoji, a njezina snaga, dakako, ovisi o tome o kojim se parametrima, odnosno parovima parametara iz tih dviju grupa radi. Rezultati korelacijske analize provedene za te parametre nedvosmisleno pokazuju da se povezanost koja postoji među pojedinim parovima parametara nipošto ne može smatrati slučajnom. Ona nije rezultat izravne uzročno-posljedične veze, kao što bi se moglo zaključiti samo iz rezultata korelacijske analize provedene za spomenute dvije grupe parametara. Utvrđena veza rezultat je djelovanja faktora koji istovremeno utječu i na doživljaj zvuka i na doživljaj svojstava uređaja. U ovom slučaju jasno je da upravo karakter zvuka, odnosno određene njegove karakteristike opisane odgovarajućim opisnim parametrima, ima presudan utjecaj na doživljaj zvuka, a u konačnici i na doživljaj svojstava uređaja koji ga pri radu proizvodi.

4.6. Rezultati subjektivnih ispitivanja - sinteza

Za razliku od prvog dijela subjektivnih ispitivanja, u kojem su ispitanicima reproducirani uzorci zvuka stvarnih uređaja koje su oni izravno vrednovali ocjenjivanjem niza unaprijed definiranih subjektivnih parametara, u drugom je dijelu subjektivnih ispitivanja zadatak ispitanika bio sintetizirati zvuk određenog tipa uređaja u skladu s njihovim stečenim iskustvom u radu s takvim uređajima te njihovim očekivanjima, vizijama i zamislama kakav bi zvuk tog tipa uređaja trebao biti. Radi provedbe ovog dijela subjektivnih ispitivanja napisane su računalne aplikacije u kojima ispitanici promjenom zadanih objektivnih parametara pokušavaju stvoriti simulirani zvuk nekog tipa uređaja koji je što bliži njihovim individualnim zamislama i predodžbama idealnog zvuka tog tipa uređaja. Analizom zvukova stvarnih uređaja određeni su rasponi unutar kojih se mogu mijenjati pojedini parametri, s tim da su ti rasponi u aplikaciji prošireni kako bi se ispitanicima dalo više slobode pri formiranju zvukova uređaja. Aplikacije nude mogućnost sinteze zvuka uređaja pri radu u praznom hodu i pri zaustavljanju. Zvuk uređaja pri radu pod

opterećenjem nije uzet u obzir u ovom dijelu ispitivanja jer je u prvom dijelu subjektivnih ispitivanja utvrđeno da upravo rad pod opterećenjem daje bitno manje informacija od preostale dvije radne faze uređaja, uglavnom zbog toga što zvuk proizveden kontaktom radnog elementa uređaja i materijala koji se obrađuje dominira nad izvornim zvukom koji proizvodi sâm uređaj.

Prilikom provedbe ovih ispitivanja, jedan je dio ispitanika izrazio želju da im se prije pristupanja sintezi vlastitog uzorka zvuka određenog tipa uređaja reproducira zvuk barem jednog od stvarnih uređaja toga tipa kako bi se još jednom podsjetili tipičnog zvuka takvog tipa uređaja. Međutim, čak i kada bi voditelj ispitivanja iz palete dostupnih snimljenih uzoraka zvuka stvarnih uređaja uspio izabrati uzorak zvuka koji smatra tipičnim za određeni tip uređaja, velika je vjerojatnost da se većina ispitanika ne bi složila s njegovim izborom upravo zbog njihovih vlastitih predodžbi o tome kakav bi taj zvuk trebao biti. Nadalje, bilo koji uzorak zvuka uzetog za neki stvarni uređaj reproduciran ispitanicima bez sumnje bi bio prihvaćen ili kao referenca koju valja oponašati i približiti joj se koliko je to moguće, ili kao tipičan primjer onakvog zvuka uređaja kakav on ne bi trebao biti, ovisno o tome sviđa li se ispitanicima izabrani reproducirani primjer ili ne. U svakom slučaju, ovakav bi postupak predstavljao nedopustivo zadiranje u ispitnu proceduru, čime bi rezultati ispitivanja bili nepovratno narušeni jer svaki ispitanik ima vlastito mišljenje o tipičnom zvuku nekog tipa uređaja.

Analiza rezultata ovog dijela subjektivnih ispitivanja provedena je u dva koraka. Prvi je korak analiza načina na koji su ispitanici u procesu stvaranja idealnog zvuka iskoristili mogućnosti koje im pruža aplikacija, odnosno analiza vrijednosti objektivnih parametara u samoj aplikaciji koje su pritom definirali. U drugom su koraku analizirani valni oblici sintetiziranog zvuka uređaja u praznom hodu i pri zaustavljanju, s ciljem usporedbe objektivnih parametara dobivenih analizom sintetiziranih zvukova s onima dobivenima za stvarne zvukove uređaja.

4.6.1. Analiza parametara simulacije

U tablicama A7, A8 i A9 u dodatku A prikazane su vrijednosti parametara koje je moguće mijenjati u aplikacijama pri sintezi zvuka uređaja za sva tri tipa uređaja uključena u istraživanje. Izabrane vrijednosti parametara prikazane su za svakog ispitanika koji je sudjelovao u ispitivanju. Za parametre koji se mogu mijenjati kontinuirano, a to su

prijelomna frekvencija šuma i osnovne frekvencije tonalnih sastavnica, zatim indeksi modulacije, broj komponenata u složenom tonalnom signalu, razine tonalnih komponenata i ukupna razina signala te vrijeme zaustavljanja, izračunate su njihove srednje vrijednosti i standardne devijacije. Za parametre čija se promjena svodi na izbor između dvije ili tri ponuđene opcije, a to su uključenost određenih sastavnica u ukupni signal, zatim donji i gornji nagib spektra šuma te oblik i sastav tonalnih signala, izračunat je postotak ispitanika koji se odlučio za određenu opciju.

Rezultati ovog dijela ispitivanja ukazuju na činjenicu da aplikacija korištena za sintezu zvuka uređaja ispitanicima daje mnogo slobode, koju su oni odlučili iskoristiti. Gotovo svi ispitanici prihvatili su ponuđene početne pretpostavke da bi se ukupni zvučni signal trebao sastojati od širokopojasnog oblikovanog šuma i tri tonalne sastavnice čije su osnovne frekvencije smještene u tri različita dijela frekvencijskog područja. Tek je vrlo mali broj ispitanika propustio uključiti neku od spomenutih sastavnica u ukupni zvučni signal.

Kada govorimo o sastavnici šuma, tek jedan jedini ispitanik smatrao je, iako neispravno, da u zvuku uopće ne bi trebala postojati sastavnica šuma. Prosječne vrijednosti prijelomne frekvencije spektra šuma gotovo su jednake za vibracijske bušilice i ručne kružne pile i iznose oko 1200 Hz, dok se za ubodne pile ta vrijednost kreće oko 1000 Hz. Međutim, za sva tri tipa uređaja ispitanici su iskoristili puni raspon prijelomnih frekvencija definiran u aplikaciji, što je jasno vidljivo i iz individualnih vrijednosti i iz izračunate standardne devijacije toga parametra. Što se tiče vrijednosti donjeg nagiba šuma, ispitanici su većinom izabrali vrijednost od 12 dB/oktavi, s tim da je kod vibracijskih bušilica i ubodnih pila uočeno da je omjer broja ispitanika koji su se odlučili za vrijednost od 12 dB/oktavi i onih koji su izabrali vrijednost od 6 dB/oktavi ugrubo 3:1, dok je kod ručnih kružnih pila taj omjer smanjen na 2:1. Činjenica da su u slučaju kružnih pila ispitanici u većem broju izabrali donji nagib šuma od 6 dB/oktavi ukazuje na to da je na njihov izbor utjecalo to što su kružne pile svojom građom veći i snažniji uređaji od vibracijskih bušilica i ubodnih pila pa su, sukladno tome, ispitanici svjesno ili nesvjesno izabrali onu opciju kojom se u ukupni zvučni signal unosi veća količina spektralnog sadržaja na nižim frekvencijama.

U tri slučaja, redom kod vibracijskih bušilica, u ukupni signal sasvim ispravno nije uključena sastavnica signala čija osnovna frekvencija leži u okolini frekvencije mreže, dakle, 50 Hz. Nasuprot tome, ispitanici su uočili važnost druge tonalne sastavnice čija osnovna frekvencija leži u području srednjih frekvencija i u aplikaciji se može mijenjati u rasponu od 350 do 600 Hz. U odjeljku 2.2.8.5.2 prikazani su težinski faktori primijenjeni u Auresovom modelu tonalnosti. Vidljivo je da onaj težinski faktor čija vrijednost ovisi o

frekvenciji tonalne komponente doseže svoje najviše vrijednosti u području frekvencija oko frekvencije 700 Hz. Upravo se u tom frekvencijskom području nalazi osnovna frekvencija druge tonalne sastavnice i njezini harmonici niskog rednog broja. Stoga se zaključuje da će upravo ova sastavnica signala imati dominantan utjecaj na ukupni dojam tonalnosti zvuka nekog uređaja. To su prepoznali i ispitanici, što je vidljivo iz činjenice da su baš svi odlučili uključiti ovu sastavnicu u ukupni signal i, što je još važnije, prosječna razina ove tonalne sastavnice viša je od prosječnih razina preostale dvije tonalne sastavnice za sva tri tipa uređaja. Mogućnost promjene razine prve tonalne sastavnice čija je frekvencija u okolini frekvencije 50 Hz ograničena je u sâmoj aplikaciji kako bi se izbjeglo da ispitanici toj sastavnici pridijele veću važnost, odnosno čujnost nego što je ona u stvarnosti ima. Treća tonalna sastavnica čija se osnovna frekvencija nalazi u području frekvencija iznad 2 kHz pojavljuje se kao rezultat gibanja sitnih pokretnih dijelova uređaja, prije svega ležajeva, ili kao rezultat turbulencija koje u zraku svojim gibanjem stvaraju pokretni dijelovi uređaja, primjerice, finozubni listovi kružnih pila. Ispitanici se slažu s potrebom za prisutnošću takve tonalne sastavnice jer su je u najvećem broju slučajeva uključili u ukupni zvuk uređaja, iako je njezina prosječna razina kod sva tri tipa uređaja manja nego prosječna razina već opisane druge tonalne sastavnice. Što se tiče oblika tonalnih sastavnica, ispitanici se u najvećem postotku opredjeljuju za uniformni oblik signala kod kojeg su amplitude svih komponenata složenog tona međusobno jednake. Ovaj trend odabira primijećen je kod sva tri tipa uređaja i za sve tri tonalne sastavnice. Isto tako, pri odabiru sastava signala ispitanici se većinom opredjeljuju za opciju da složeni tonalni signal neke tonalne sastavnice sadrži sve harmonike. Što se tiče opcije u aplikaciji kojom se može namjestiti da amplitude komponenata u složenom tonalnom signalu slijede ili ne slijede definirane nagibe spektra šuma, ispitanici se u najvećem postotku odlučuju za potonju opciju. Posebno je takav izbor izražen kod ubodnih pila, a nešto manje kod preostala dva tipa uređaja.

Pri izboru osnovnih frekvencija tonalnih sastavnica signala ispitanici su, kao i u slučaju prijelomne frekvencije šuma, iskoristili cijeli raspon osnovnih frekvencija definiranih aplikacijom. Iz izabranih individualnih vrijednosti ovih parametara i izračunate srednje vrijednosti μ , odnosno standardne devijacije σ za cijelu ispitnu grupu pokazanih u tablicama A7, A8 i A9 u dodatku A jasno je vidljiv opisani trend. Posebno se to odnosi na prvu tonalnu sastavnicu kod koje srednja vrijednost izabrane osnovne frekvencije za sva tri tipa uređaja leži točno u sredini definiranog raspona, a uz pretpostavku normalne razdiobe individualnih vrijednosti i izračunatu standardnu devijaciju vidljivo je da se interval

$[\mu-2\sigma, \mu+2\sigma]$ u kojem se nalazi 95 % svih vrijednosti proteže preko cijelog definiranog raspona osnovnih frekvencija. Srednje vrijednosti izabranih razina za prvu tonalnu sastavnicu izračunate za pojedine tipove uređaja kreću se unutar raspona od 3 dB, pri čemu je najviša vrijednost dobivena za ručne kružne pile u iznosu od -19,8 dB, dok su za ubodne pile i vibracijske bušilice dobivene vrijednosti od -21,5 dB, odnosno -23,0 dB. Što se tiče broja komponenata koje ova tonalna sastavnica treba imati, za sva tri tipa uređaja ispitanici u prosjeku smatraju da se ova tonalna sastavnica treba sastojati od dvije komponente. I kod druge tonalne sastavnice vidljivo je da interval u kojem se statistički nalazi 95 % izabranih osnovnih frekvencija pokriva cijeli definirani raspon, pri čemu su srednje vrijednosti osnovnih frekvencija gotovo jednake u slučaju vibracijskih bušilica i ručnih kružnih pila i iznose 465 Hz, odnosno 476 Hz, dok je srednja vrijednost izračunata za ubodne pile niža u odnosu na prethodne dvije i iznosi 417 Hz. Srednja vrijednost razine ove tonalne sastavnice najviša je za ručne kružne pile i iznosi -5,4 dB, što ukazuje na to da ispitanici žele naglasiti tonalni karakter zvuka ručnih kružnih pila u odnosu na zvukove vibracijskih bušilica i ubodnih pila, kod kojih te vrijednosti iznose -10,2 dB, odnosno -9,5 dB. Prosječan broj komponenata od kojih se ova tonalna sastavnica sastoji iznosi 4 za vibracijske bušilice i ručne kružne pile, a 3 za ubodne pile, iako je i ovdje, kao i kod ostalih parametara, prisutno veliko rasipanje izabranih vrijednosti. I za treću tonalnu sastavnicu vidljiv je široki raspon u kojem ispitanici biraju osnovnu frekvenciju te sastavnice, koja se ipak zadržava ispod 10 kHz. Pritom su srednje vrijednosti osnovne frekvencije ove tonalne sastavnice gotovo jednake za vibracijske bušilice i ručne kružne pile i iznose 4800 Hz, odnosno 5060 Hz, dok je srednja vrijednost izračunata za ubodne pile znatno niža od prethodne dvije i iznosi 3840 Hz. Srednja vrijednost razine ove tonalne sastavnice najviša je za ručne kružne pile u iznosu od -7,1 dB, čime je dodatno naglašen tonalni karakter zvuka tih uređaja. Vrijednosti dobivene za vibracijske bušilice i ubodne pile niže su i iznose -10,7 dB, odnosno -15,2 dB. Za sva tri tipa uređaja ispitanici u prosjeku smatraju da se ova tonalna sastavnica u optimalnom slučaju treba sastojati od dvije komponente.

Pri izboru indeksa amplitudne modulacije pri kojoj su sastavnica šuma te druga i treća tonalna sastavnica amplitudno modulirane prvom tonalnom sastavnicom, ispitanici najviše pažnje posvećuju dubini, odnosno jačini modulacije sastavnice šuma, koja je i najčujnija s obzirom na širokopoljasnost šuma kao prijenosnog signala. U skladu s iskustvom koje su stekli u radu s tipovima uređaja uključenim u ispitivanje, najveći prosječni indeks modulacije šuma ispitanici su pridijelili zvuku ubodnih pila. On iznosi 0,35 i znatno se razlikuje od prosječnog indeksa modulacije šuma pridijeljenog zvuku vibracijskih bušilica

i ručnih kružnih pila, čije vrijednosti u oba slučaja iznose tek 0,10. Dodatna potvrda važnosti modulacije šuma vidi se i iz individualnih vrijednosti indeksa modulacije, pa tako kod vibracijskih bušilica i ručnih kružnih pila više od polovice ispitanika smatra da amplitudna modulacija šuma uopće ne treba postojati, dok je kod ubodnih pila to slučaj kod svega nekoliko ispitanika. Za razliku od modulacije šuma, čujnost modulacije tonalnih sastavnica ovisit će o nekoliko čimbenika, prije svega o čujnosti sâme tonalne sastavnice, odnosno pojedinih njezinih komponenata, dakle, o njezinoj razini, osnovnoj frekvenciji, obliku i sastavu te indeksu modulacije. Srednje vrijednosti izabranih indeksa modulacije za pojedine tonalne sastavnice kod pojedinih tipova uređaja kreću se između 0,21 i 0,37 i ne otkrivaju postojanje značajnih razlika među njima. Indeks modulacije tonalnih sastavnica očito nije ni jedini ni presudni čimbenik koji utječe na njezinu čujnost, odnosno, važnost postojanja modulacije tonalnih sastavnica bitno je manja od važnosti postojanja modulacije šuma pri formiranju idealnog zvuka nekog uređaja. Iznesene tvrdnje vrijede za zvuk uređaja u praznom hodu, u kojem je zvuk stacionarnog karaktera. Međutim, zvuk uređaja u zaustavljanju nije stacionarnog karaktera, već je u aplikaciji definirano da frekvencije i amplitude tonalnih sastavnica pri simulaciji zaustavljanja padaju linearno u ovisnosti o vremenu. Amplituda šuma pada također linearno u ovisnosti o vremenu, ali bez promjene prijelomne frekvencije i nagiba spektra šuma. Uz ovako definirane promjene osnovnih parametara tonalnih sastavnica indeks modulacije ostaje stalan tijekom zaustavljanja, dok se modulacijska frekvencija mijenja od vrijednosti osnovne frekvencije prve tonalne sastavnice do nule. Stoga će se i čujnost modulacije značajno mijenjati pri zaustavljanju, što je bio jedan od osnovnih razloga za uvrštavanje simulacije zvuka u zaustavljanju u ovaj dio subjektivnih ispitivanja.

4.6.2. Analiza i usporedba vrijednosti objektivnih parametara simuliranih i stvarnih zvukova uređaja

Prvi korak u analizi sintezom dobivenih zvukova uređaja je upravo opisana analiza vrijednosti parametara koji se mogu mijenjati u aplikaciji namijenjenoj sintezi zvuka uređaja i načina njihovog odabira. Slijedeći korak je analiza i usporedba objektivnih parametara, definiranih i opisanih u poglavlju 2, dobivenih za zvukove stvarnih uređaja pojedinog tipa s objektivnim parametrima dobivenim za sintetizirane zvukove uređaja toga tipa. Rezultati analize pokazani su u dodatku A. Tablicom A10 prikazani su rezultati

analize zvuka ručnih kružnih pila u praznom hodu, tablica A11 prikazuje rezultate analize dobivene za zvuk vibracijskih bušilica u praznom hodu, a tablicom A12 pokazani su rezultati dobiveni za zvuk ubodnih pila u praznom hodu. Rezultati analize dobiveni za zvuk uređaja pri zaustavljanju pokazani su tablicama A13_1, A13_2 i A13_3 za kružne pile, tablicama A14_1, A14_2 i A14_3 za vibracijske bušilice te tablicama A15_1, A15_2 i A15_3 za ubodne pile.

4.6.2.1. Prazan hod

Komparativnom analizom rezultata načinjenom za stvarne i sintetizirane zvukove ručnih kružnih pila, vibracijskih bušilica i ubodnih pila pri radu u praznom hodu utvrđeno je da se prosječna vrijednost glasnoće izračunata za stvarne zvukove razlikuje od one dobivene za uzorke sintetiziranih zvukova, kao i prosječne vrijednosti njima odgovarajućih razina zvučnog tlaka. Međutim, treba naglasiti da se prosječne vrijednosti glasnoće dobivene za uzorke stvarnog zvuka pojedinih tipova uređaja mnogo više međusobno razlikuju od onih dobivenih sintezom, što ukazuje na općenitu želju ispitanika da se glasnoće zvukova svih tipova uređaja ujednače bez obzira na građu, veličinu, snagu i namjenu uređaja. Konkretno, ručne kružne pile u stvarnosti su najglasnije od tri ispitivana tipa uređaja s prosječnom glasnoćom od 92 sona dobivenom Zwickerovim modelom, odnosno prosječnom linearnom razinom zvučnog tlaka od 94,4 dB. Upravo se kod ovih uređaja vidi najveća razlika između glasnoće, odnosno razine zvučnog tlaka stvarnih i sintetiziranih zvukova. Prosječna vrijednost glasnoće sintetiziranih zvukova ručnih kružnih pila iznosi 70 sona, a prosječna vrijednost linearne razine zvučnog tlaka 86,3 dB. Dobivene vrijednosti ukazuju na činjenicu da ispitanici smatraju da je glasnoću ovih uređaja potrebno smanjiti oko 25 %, što odgovara smanjenju razine zvučnog tlaka za 6-8 dB, ovisno o težinskoj krivulji primijenjenoj pri mjerenju. Prosječna vrijednost glasnoće zvukova sintetiziranih za ručne kružne pile veća je od onih dobivenih za preostala dva tipa uređaja, što je posljedica činjenice da ispitanici iz iskustva znaju da su kružne pile građom veći i snažniji strojevi od vibracijskih bušilica i ubodnih pila te pri radu proizvode zvuk veće glasnoće, odnosno razine zvučnog tlaka. Međutim, individualne vrijednosti glasnoće i razine zvučnog tlaka sintetiziranih zvukova samo su u rijetkim slučajevima dosegle one dobivene za zvukove stvarnih uređaja. Kod vibracijskih bušilica situacija je drukčija jer su ispitanici voljni dopustiti čak i nešto više vrijednosti glasnoće i razine zvučnog tlaka od onih utvrđenih za

stvarne uređaje. Prosječne vrijednosti glasnoće i linearne razine zvučnog tlaka dobivene za stvarne zvukove vibracijskih bušilica iznose 51 son, odnosno 86,5 dB, dok su za sintetizirane zvukove dobivene vrijednosti od 61 son i 84,1 dB. Razlika razina zvučnog tlaka stvarnih i sintetiziranih zvukova iznosi tek 1-2,5 dB, ovisno o primijenjenoj težinskoj krivulji. Činjenica da je kod sintetiziranih zvukova dobivena niža razina zvučnog tlaka, ali viša vrijednost glasnoće ukazuje na postojanje značajnih razlika u spektralnom sastavu stvarnih i sintetiziranih zvukova vibracijskih bušilica. Kod ubodnih pila prosječne vrijednosti glasnoće i linearne razine zvučnog tlaka iznose 66 sona, odnosno 90 dB, dok vrijednosti dobivene za sintetizirane zvukove iznose 57 sona, odnosno 83 dB. Predloženo smanjenje glasnoće ubodnih pila iznosi oko 15 %, što odgovara smanjenju razine zvučnog tlaka za 5-7 dB, ovisno o težinskoj krivulji primijenjenoj pri mjerenju.

Promatrajući dobivene vrijednosti ostalih osnovnih parametara, vidljiva je želja ispitanika za značajnim smanjenjem oštrine zvuka sva tri tipa uređaja. Prosječna vrijednost Zwickerove oštrine za stvarne zvukove iznosi 2,45 acuma za ručne kružne pile, 2,58 za vibracijske bušilice i 2,50 za ubodne pile, dok za sintetizirane zvukove te vrijednosti iznose redom 2,17, 2,27 i 2,08 acuma. Nasuprot tome, ispitanici toleriraju mnogo više vrijednosti grubosti zvuka od onih dobivenih za zvukove stvarnih uređaja, za koje su dobivene prosječne vrijednosti grubosti od 0,05 aspera za ručne kružne pile, 0,04 aspera za vibracijske bušilice te 0,12 aspera za ubodne pile. Za sintetizirane zvukove uređaja prosječne vrijednosti grubosti iznose redom 0,14, 0,12 i 0,32 aspera. Najveća razlika u grubosti zvuka pokazuje se za zvukove ubodnih pila. Ukupna tonalnost zvuka također je izrazito naglašena kod sintetiziranih zvukova u odnosu na zvukove stvarnih uređaja, pri čemu zanimljivost predstavlja činjenica da ispitanici smatraju da bi se zvuk kružnih pila trebao odlikovati najvećom tonalnošću, iako je utvrđeno da u stvarnosti od sva tri tipa uređaja upravo one imaju najmanje tonalan zvuk. Konkretno, prosječne vrijednosti Auresove tonalnosti dobivene za zvukove stvarnih uređaja iznose 0,04 tonalne jedinice za ručne kružne pile, 0,10 tonalnih jedinica za vibracijske bušilice te 0,06 tonalnih jedinica za ubodne pile, dok za sintetizirane zvukove te vrijednosti iznose redom 0,46, 0,36 i 0,33 tonalne jedinice.

Detaljnijom analizom rezultata tonalne analize stvarnih i sintetiziranih zvukova, pokazanih u tablicama A10, A11 i A12 za sva tri tipa uređaja, vidi se da je tonalna komponenta koja najviše pridonosi dojmu tonalnosti sintetiziranog zvuka u najvećem broju slučajeva povezana s drugom tonalnom sastavnicom u simulaciji, čija se osnovna frekvencija kreće između 350 i 600 Hz, pri čemu dominantna tonalna komponenta odgovara upravo

osnovnoj frekvenciji te sastavnice ili nekom od njezinih harmonika. U vrlo malom broju slučajeva dominantna je tonalna komponenta vezana uz osnovnu frekvenciju prve ili treće tonalne sastavnice ili neki od njezinih harmonika. Rezultati dobiveni za sintetizirane zvukove vrlo se dobro slažu s onim dobivenima analizom stvarnih zvukova. Analiza harmoničkog sadržaja stvarnih zvukova otkriva da su upravo tonalne komponente koje najviše pridonose dojmu tonalnosti zvuka najčešće i one s najbogatijim harmoničkim sadržajem. Kod sintetiziranih zvukova situacija je drukčija jer u razmjerno velikom broju slučajeva osnovna frekvencija prve tonalne sastavnice ima najbogatiji harmonički sadržaj. Ovaj fenomen posebno je izražen kod ubodnih pila, kod kojih je ovakav rezultat uočen u polovici svih sintetiziranih uzoraka. No, najveća razlika između stvarnih i sintetiziranih uzoraka zvuka postaje vidljiva nakon analize čujnosti tonalnih komponentata prisutnih u spektru zvuka uređaja, koju je potrebno provesti radi izračuna ukupne tonalnosti, te provedbe analize harmoničkog sadržaja pronađenih čujnih tonalnih komponentata. Naime, analiza harmoničkog sadržaja čujnih komponentata za stvarne zvukove samo u iznimnim slučajevima otkriva čujnu tonalnu komponentu koja uopće ima harmonički sadržaj, iz čega zaključujemo da je kod stvarnih uređaja za ukupni dojam tonalnosti odgovorna jedna ili više čistih tonalnih komponentata. Nasuprot tome, kod sintetiziranih zvukova i nakon analize čujnosti tonalnih komponentata gotovo redovito ostaje barem jedna čujna tonalna komponentata s harmoničkim sadržajem. Ovakav rezultat posljedica je činjenice da ispitanici toleriraju ili svjesno žele mnogo tonalniji zvuk uređaja od onog koji oni proizvode u stvarnosti, što podupire i činjenica da su u sâmom procesu sinteze pojedine tonalne sastavnice izborom njihove razine učinili izrazito čujnima u odnosu na sastavnicu šuma. Analiza harmoničkog sadržaja pokazuje da je kod zvukova stvarnih uređaja u svim slučajevima utvrđeno postojanje parnih harmonika neke osnovne frekvencije, ali ne i neparnih. Kod sintetiziranih je zvukova postojanje parnih harmonika utvrđeno u većem broju slučajeva nego pojava neparnih. Za one slučajeve za koje je utvrđeno postojanje i parnih i neparnih harmonika određen je i njihov logaritamski odnos snaga, pri čemu je kod sva tri tipa uređaja utvrđena tendencija koju su izrazili ispitanici da se taj odnos promijeni za 3-4 dB u korist parnih harmonika. Konačno, u posljednjem koraku analize rezultata tonalne analize utvrđeno je da su vrijednosti prominentnosti i odnosa ton/šum kod sintetiziranih zvukova daleko veće od onih utvrđenih kod stvarnih zvukova. Štoviše, detaljnijom analizom ovih rezultata može se zaključiti da su najmanje utvrđene vrijednosti ovih parametara za sintetizirane zvukove sumjerljive najvećim vrijednostima dobivenim za

stvarne zvukove. Svi izneseni rezultati podupiru zaključak da je kod sintetiziranih zvukova izrazito naglašen njihov tonalni karakter.

Analizom vremenske ovojnice stvarnih i sintetiziranih zvukova uređaja dobivaju se indeksi amplitudne modulacije čija se procjena temelji na analizi ukupnog valnog oblika zvučnog signala. Rezultati ovakve analize pokazuju da su indeksi modulacije dobiveni na ovaj način za zvukove stvarnih uređaja značajno niži od onih dobivenih za sintetizirane zvukove uređaja, i to za sva tri tipa uređaja. Dodatnom analizom još su jednom na isti način procijenjeni indeksi modulacije, ali su ovaj put uzete u obzir samo modulacijske frekvencije niže od 150 Hz iz već navedenih razloga. Rezultati ovog dijela analize pokazuju da se kod stvarnih uređaja redovito dobivaju indeksi modulacije manji od 0,1, osim u slučaju određenih primjeraka ubodnih pila, što je razumljivo uzme li se u obzir specifično translacijsko gibanje jednog dijela njihovog elektromehaničkog sustava. Za amplitudnu modulaciju širokopojasnog signala utvrđeno je da je uz spomenutu vrijednost indeksa modulacije ona slabo zamjetljiva. Međutim, rezultati analize primijenjene na sintetizirane zvukove uređaja jasno pokazuju da su ispitanici voljni u zvuk uređaja unijeti čujnu amplitudnu modulaciju, što je vidljivo iz prosječnih vrijednosti indeksa modulacije dobivenih za pojedine tipove uređaja koje su više od onih dobivenih za zvukove stvarnih uređaja. Prosječne vrijednosti indeksa modulacije dobivene na ovaj način za sintetizirane zvukove triju tipova uređaja imaju vrijednost 0,11 za ručne kružne pile te 0,10 za vibracijske bušilice, dok za ubodne pile ta prosječna vrijednost iznosi 0,22. Za stvarne uređaje te vrijednosti iznose redom 0,02 za ručne kružne pile, 0,03 za vibracijske bušilice te 0,11 za ubodne pile. Iz dobivenih vrijednosti može se zaključiti da slabo čujna amplitudna modulacija nije nepoželjna u zvuku ručnih kružnih pila i vibracijskih bušilica, dok je u zvuku ubodnih pila poželjno naglasiti njezinu prisutnost, jer se time naglašava i specifična građa, odnosno način rada tog tipa uređaja, čime se on izdvaja od preostalih tipova uređaja. S obzirom na to da se kod sintetiziranih zvukova rada u praznom hodu modulacijske frekvencije važne za čujnost amplitudne modulacije kreću u području od 40-150 Hz, one će imati dominantan utjecaj na osjet grubosti zvuka. Željeno povećanje čujnosti amplitudne modulacije odražava se u povećanju indeksa modulacije, ali i u povećanju ukupne grubosti zvuka iskazane istoimenim objektivnim parametrom.

Usporedbom parametara spektralne ovojnice stvarnih i sintetiziranih zvukova vidljivo je da su prosječne vrijednosti prijelomne frekvencije znatno više za stvarne zvukove ubodnih i ručnih kružnih pila od onih dobivenih za sintetizirane zvukove tih uređaja i iznose 1570, odnosno 1684 Hz za stvarne zvukove te 1020, odnosno 1234 Hz za sintetizirane

zvukove. Kod vibracijskih bušilica je obrnuto, pri čemu prosječna vrijednost prijelomne frekvencije za stvarne zvukove iznosi 1077 Hz, a za sintetizirane 1200 Hz. Razlika stvarne i željene vrijednosti u ovom slučaju nije značajna i iznosi tek -10 %, dok kod kružnih i ubodnih pila ta razlika iznosi oko 25, odnosno 30 %. Prosječna vrijednost donjeg nagiba izračunata za stvarne zvukove praktički je jednaka za sva tri tipa uređaja i kreće se oko vrijednosti od 8 dB/oktavi, čime je podržana teza o sličnostima u građi sva tri tipa uređaja, iako im je namjena vrlo različita. S obzirom na to da u aplikaciji za sintezu nije ponuđeno kontinuirano namještanje vrijednosti nagiba, već samo dvije diskretne vrijednosti od 6 i 12 dB/oktavi, u prosječnoj vrijednosti donjeg nagiba za sintetizirane zvukove odražava se prije svega način na koji su se ispitanici opredijelili između dvije ponuđene vrijednosti i za sva tri tipa uređaja ona iznosi oko 10 dB/oktavi. Prosječna vrijednost gornjeg nagiba znatno je manja od one za donji nagib te za stvarne zvukove ona iznosi -2 dB/oktavi za ručne kružne pile, a -1 dB/oktavi za vibracijske bušilice i ubodne pile. Prosječna vrijednost gornjeg nagiba za sintetizirane je zvukove dobivena uz ista ograničenja kao i ona za donji nagib, s tim da su se ispitanici u ovom slučaju opredijelili između tri vrijednosti, 0, -3 i -6 dB/oktavi. Za sva tri tipa uređaja ona iznosi oko -3,5 dB/oktavi, što potvrđuje iskazanu želju za smanjenjem oštine zvuka uređaja.

Analiza vrijednosti parametara statističke glasnoće kojima je na alternativan način opisano kolebanje glasnoće otkriva da su te vrijednosti za sva tri tipa uređaja veće za stvarne zvukove nego za sintetizirane, pri čemu se najveća razlika pojavljuje kod vibracijskih bušilica, a najmanja kod ubodnih pila. Uzevši u obzir činjenicu da su ovi parametri definirani iz statističkih vrijednosti glasnoće izračunatih na cijelom trajanju uzorka zvuka, zaključuje se da će se glasnoća zvuka stvarnog uređaja više mijenjati unutar uzetog uzorka nego glasnoća strogo kontroliranog sintetiziranog zvuka. Razlog tome može biti promjena položaja ili orijentacije uređaja u odnosu na mjerni mikrofon prilikom uzimanja uzoraka zvuka, iako su u toj fazi poduzete sve mjere da se opisano ne dogodi. Isto tako moguć razlog jest i postojanje kolebanja u zvuku stvarnog uređaja čija pojava ovisi o čimbenicima vezanim uz opće stanje uređaja (nezategnut vijak, oštećen ležaj i sl.), koji nisu obuhvaćeni aplikacijom za sintezu zvuka. Modulacija u ovom slučaju nema značajnu ulogu jer je modulacijska frekvencija previsoka da bi se pojava modulacije odrazila u promjeni glasnoće.

4.6.2.2. Zaustavljanje

Pri sintezi zvuka zaustavljanja za svaku od sastavnica signala definiran je način njezine promjene u ovisnosti o vremenu. Amplitude tonalnih komponenata svih tonalnih sastavnica padaju linearno od svoje vrijednosti zadane u aplikaciji do nule u vremenskom intervalu zaustavljanja koji je zadan duljinom trajanja zaustavljanja. U istom intervalu i frekvencije tonalnih komponenata padaju također linearno od svoje zadane vrijednosti do nule. Amplituda sastavnice šuma također pada linearno do nule u intervalu zaustavljanja, ali se oblik spektra šuma ne mijenja, što znači da zadane vrijednosti prijelomne frekvencije šuma i njegovog gornjeg i donjeg nagiba ostaju nepromijenjene tijekom cijelog intervala zaustavljanja. Ovako zadan način promjene pojedinih sastavnica, a time i cijelog signala, samo približno odgovara onome kod stvarnih uređaja i ograničen je upravo svojom strogom definicijom. Unatoč tome, analiza sintetiziranih zvukova zaustavljanja uređaja pokazuje da je sintezom moguće dobiti široki raspon vrlo različitih oblika krivulje ukupne glasnoće, kao i različite oblike vremenske promjene specifične glasnoće. Ovakav nalaz načelno se ne slaže s rezultatima analize provedene za stvarne zvukove, kod kojih su uočene određene pravilnosti na temelju kojih su i definirani parametri kojima su te pravilnosti prikladno obuhvaćene i opisane. Ovako široki raspon varijacija sintetiziranih zvukova posljedica je činjenice da je ispitanicima pri sintezi zvuka omogućena velika sloboda izbora vrijednosti parametara koji definiraju pojedine sastavnice signala. Stoga parametri definirani za zaustavljanje vezani uz analizu oblika ukupne krivulje glasnoće i vremenske promjene krivulje specifične glasnoće, odnosno usporedba njihovih vrijednosti dobivenih za stvarne i sintetizirane zvukove ne donosi informaciju iz koje bi bili vidljivi trendovi, odnosno smjernice koje je poželjno slijediti radi poboljšanja kvalitete zvuka nekog uređaja. Drugi dio analize ponašanja glasnoće pri zaustavljanju odnosi se na kolebanje glasnoće pri zaustavljanju koje ne ovisi o načinu promjene glasnoće u vremenu. Za razliku od upravo opisanog prvog dijela analize, iz analize kolebanja glasnoće, odnosno njegove vremenske promjene, može se zaključiti da zvukovi zaustavljanja uređaja dobiveni sintezom definiranom na opisani način vrlo dobro oponašaju stvarne zvukove uređaja. Pritom se može vidjeti da je kod ručnih kružnih pila ukupna količina kolebanja tijekom cijelog zaustavljanja praktički jednaka za stvarne i sintetizirane zvukove, s tim da se njezina prosječna vrijednost za stvarne zvukove bitno smanjuje ukoliko se iz skupa stvarnih zvukova uklone zvukovi onih uređaja koje su ispitanici baš zbog izrazitog kolebanja glasnoće proglasili iznimno lošima u svakom pogledu. Za vibracijske bušilice i

ubodne pile ispitanici su voljni dopustiti i veće vrijednosti ukupne količine kolebanja od one dobivene za stvarne zvukove. Prosječne vrijednosti ukupne količine kolebanja dobivene iz promjene Zwickerove glasnoće uz duljinu usrednjavanja od 100 ms za stvarne zvukove iznosi 1,88 za ručne kružne pile, 1,28 za vibracijske bušilice i 2,32 za ubodne pile, dok kod sintetiziranih zvukova te vrijednosti redom iznose 1,91, 2,20 i 3,31. Prosječne vrijednosti ukupne količine kolebanja mnogo se više razlikuju za sintetizirane zvukove nego za stvarne. Analizom je utvrđeno da su za sva tri tipa uređaja i vrijednosti kolebanja glasnoće na početku intervala zaustavljanja više za sintetizirane zvukove nego za stvarne. Daljnjom analizom ponašanja kolebanja glasnoće pri zaustavljanju putem percentila kolebanja utvrđeno je da su kod ručnih kružnih pila dobivene vrijednosti veće za stvarne zvukove nego za sintetizirane, dok je kod vibracijskih bušilica i ubodnih pila situacija obrnuta. Međutim, kao i kod ukupne količine kolebanja, prosječna vrijednost percentila kolebanja za stvarne zvukove kružnih pila bitno je manja kada se iz izračuna uklone vrijednosti dobivene za zvukove onih kružnih pila koje su proglašene lošima baš zbog neprihvatljive veličine kolebanja. Analizom prosječnih vrijednosti pojedinih percentila kolebanja utvrđeno je da se najveća razlika između vrijednosti dobivenih za stvarne i sintetizirane zvukove dobiva za percentile $(\Delta N_{\text{rel}})_1$ i $(\Delta N_{\text{rel}})_5$, koji označavaju postotnu vrijednost kolebanja glasnoće dostignutu ili premašenu u 1, odnosno 5 % vremena zaustavljanja uređaja. Dobiveni rezultati mogu se protumačiti uzimajući u obzir očitu potrebu ispitanika za naglašavanjem pojave amplitudne modulacije u ukupnom zvučnom signalu sva tri tipa uređaja, što je vidljivo i iz povećanja indeksa modulacije koje sintetizirani zvukovi uređaja u praznom hodu iskazuju u odnosu na stvarne. No, dobiveni rezultat jest i posljedica konstantnosti indeksa modulacije u simulaciji tijekom cijelog intervala zaustavljanja. On ostaje konstantan upravo zbog načina na koji se mijenjaju amplitude pojedinih sastavnica signala, dok frekvencija modulacijske komponente linearno pada od svoje zadane vrijednosti do nule u toku zaustavljanja. S obzirom na činjenicu da je ljudski slušni sustav sposoban amplitudnu modulaciju doživjeti kao značajnu promjenu glasnoće tek onda kada modulacijska frekvencija poprimi vrlo niske vrijednosti, jasno je da upravo zbog toga spomenuti percentili kolebanja poprimaju vrlo visoke vrijednosti jer se spomenuta pojava značajnije manifestira tek na sâmom kraju intervala zaustavljanja. Zbog istog razloga kolebanje glasnoće raste s vremenom i najveće je upravo na kraju intervala zaustavljanja. Pritom valja naglasiti da su zbog želje ispitanika za naglašavanjem tonalnog karaktera zvukova uređaja tonalne sastavnice signala sintetiziranih zvukova bitno čujnije nego one kod stvarnih zvukova i, što je još važnije, one ostaju čujne tijekom cijelog

intervala zaustavljanja, pri čemu modulacija takvih komponenata, koja je u praznom hodu nečujna ili slabo čujna bez obzira na veličinu indeksa modulacije, naglo dobiva na važnosti kako se proces zaustavljanja primiče svome kraju.

Analiza načina promjene preostalih parametara definiranih radi opisivanja zvuka uređaja u zaustavljanju pokazuje želju ispitanika za smanjenjem oštine, odnosno udjela visokofrekvencijskog sadržaja u zvuku uređaja, što je već utvrđeno analizom parametara definiranih za zvuk u praznom hodu. Ispitanici ostvaruju spomenutu tendenciju smanjenjem prijelomne frekvencije šuma te biranjem većih apsolutnih vrijednosti gornjeg nagiba šuma jer se time smanjuje sadržaj visokofrekvencijskog dijela spektra. No, isti se cilj može postići izborom visoke razine druge tonalne sastavnice jer se time povećava sadržaj spektra u području srednjih frekvencija u kojem se nalazi osnovna frekvencija te sastavnice i većina njezinih harmonika, čime se ujedno smanjuje udio visokofrekvencijskog sadržaja u spektru u odnosu na ukupni spektar signala. Isto tako, potvrđuje se i tendencija pada oštine zvuka prilikom zaustavljanja uočena i kod zvukova stvarnih uređaja. Kao i kod praznog hoda, i pri zaustavljanju postoji tendencija za naglašavanjem tonalnog karaktera zvuka, pri čemu su početne vrijednosti tonalnosti znatno više za sintetizirane zvukove od onih dobivenih za stvarne zvukove. No, i brzina pada tonalnosti zvuka viša je za sintetizirane zvukove upravo zbog naglašenosti tonalnih komponenata u sintetiziranom zvuku uređaja pri radu u praznom hodu te, uzevši u obzir prije definirani način promjene amplitude tonalnih komponenata u ovisnosti o vremenu i kriterijima kojima se ocjenjuje važnost neke tonalne komponente za ukupnu tonalnost zvuka, postaje jasno da naglašene tonalne komponente vrlo brzo gube na važnosti zbog načina promjene njihove amplitude i frekvencije. Konačno, parametri na čije vrijednosti jako utječe pojava amplitudne modulacije u signalu su grubost i jačina kolebanja. Vrijednosti dobivene za ove parametre tumače se kao posljedica težnje ispitanika za naglašavanjem čujnosti amplitudne modulacije u zvuku sva tri tipa uređaja. Tako su početne vrijednosti grubosti dobivene za sintetizirane zvukove znatno više od onih dobivenih za stvarne zvukove uređaja, što je razumljivo uzme li se u obzir da se početna zadana vrijednost osnovne modulaijske frekvencije u simulaciji nalazi u okolini frekvencije 50 Hz. Pritom prosječna početna vrijednost grubosti stvarnih zvukova ručnih kružnih pila iznosi 0,04, vibracijskih bušilica 0,05, a ubodnih pila 0,09, dok su za sintetizirane zvukove te vrijednosti redom jednake 0,25, 0,27 i 0,49. No, za razliku od zvukova stvarnih uređaja s malom prosječnom početnom vrijednosti grubosti koja

pokazuje vrlo blagu tendenciju rasta prema kraju intervala, sintetizirani su zvukovi gotovo školski primjer promjene veličine grubosti s modulacijskom frekvencijom. Naime, grubost u slučaju sintezom dobivenih zvukova pada u ovisnosti o vremenu, baš kao i modulacijska frekvencija, tako da je njezina vrijednost na kraju intervala zaustavljanja približno jednaka nuli. Kad govorimo o promjeni kolebanja u vremenu, za sva tri tipa uređaja pokazuje se da su prosječne početne vrijednosti za stvarne i simulirane zvukove praktički jednake u slučaju ručnih kružnih pila i vibracijskih bušilica, dok su kod ubodnih pila te vrijednosti značajno veće za sintetizirane zvukove, što je opet posljedica nastojanja ispitanika da naglase čujnost amplitudne modulacije u zvuku ubodnih pila. Za razliku od grubosti, kolebanje kod sva tri tipa uređaja pokazuje tendenciju rasta i kod stvarnih i kod sintetiziranih zvukova uređaja, što je također u skladu s načinom promjene modulacijske frekvencije u intervalu zaustavljanja uređaja.

Usporedba vremena zaustavljanja dobivenih analizom stvarnih zvukova uređaja s vremenima zaustavljanja koje su ispitanici za sintetizirane zvukove uređaja definirali izravno u aplikaciji pokazuje da se kod stvarnih uređaja vremena zaustavljanja najviše rasipaju, odnosno protežu u najvećem rasponu kod ručnih kružnih pila, i to od 3 do 14 sekundi. Kod vibracijskih bušilica i ubodnih pila taj je raspon znatno manji te se u oba slučaja vremena zaustavljanja kreću od 2 do 4,5 sekunde. Iz rezultata se jasno vidi da se prosječno vrijeme zaustavljanja ručnih kružnih pila značajno razlikuje od vrijednosti dobivenih za preostala dva tipa uređaja koje su gotovo jednake, a isti se zaključak može proširiti i na rasipanja, odnosno standardne devijacije vremena zaustavljanja dobivene za pojedini tip uređaja. Dobiveni rezultati mogu se protumačiti razlikama između pojedinih tipova uređaja, ali i razlikama između pojedinih primjeraka uređaja istog tipa, s naglaskom na razlike u snazi te veličini radnog elementa uređaja i sâmog uređaja. Kod ručnih kružnih pila spomenute su razlike bez sumnje najveće, a veći i snažniji uređaj redovito je opremljen i listom pile veće mase i polumjera pa veliki moment inercije lista pile može značajno produljiti zaustavljanje takvih uređaja. Kod vibracijskih bušilica i ubodnih pila snaga uređaja i veličina pokretnih dijelova bitno je manja nego kod ručnih kružnih pila, a isto se može reći i za razlike između pojedinih primjeraka istog tipa uređaja, što se na koncu odražava ne samo u kraćem vremenu zaustavljanja, već i u manjem rasipanju dobivenih vrijednosti. I u slučaju sintetiziranih zvukova mogu se izvući zaključci slični onima za stvarne zvukove, u smislu da je i sada prosječna vrijednost vremena zaustavljanja znatno veća za kružne pile nego za preostala dva tipa uređaja, a isti je slučaj i s vrijednostima rasipanja izračunatim za pojedine tipove uređaja. Prosječne vrijednosti

vremena zaustavljanja izabrane pri sintezi iznose 5,9 s za kružne pile u odnosu na prosječnu vrijednost od 6,7 s dobivenu za stvarne uređaje. Kod vibracijskih bušilica te vrijednosti iznose 3,7 s za simulirane uređaje u odnosu na 3,2 s za stvarne, dok su kod ubodnih pila dobivene vrijednosti od 4,1 s za simulirane uređaje i 3,1 s za stvarne. S obzirom na to da su ispitanici nesumnjivo stjecali iskustvo radeći s vrlo različitim primjercima pojedinog tipa uređaja, iskustvo koje su stekli svjesno su iskoristili kao izravnu referencu pri izboru vrijednosti ovog parametra u procesu sinteze.

5. Korelacija objektivnih i subjektivnih parametara zvučne slike i modeli ocjene neugode zvuka i svojstava uređaja

5.1. Korelacija objektivnih i subjektivnih parametara zvučne slike

Cilj procesa ocjene kvalitete zvuka nekog uređaja jest pronalaženje postupka koji će umanjiti ili u potpunosti ukloniti potrebu za provođenjem subjektivnih ispitivanja nakon što se jednom obavi inicijalni krug tih ispitivanja i utvrde želje, odnosno sklonosti ispitanika prema određenom karakteru i karakteristikama zvuka određenog tipa uređaja. Osnovni razlog je dugotrajnost takvih ispitivanja koja znatno usporava proces stvaranja primjerenog zvuka za određeni uređaj, dok se na temelju objektivnih mjerenja i izračuna mogu vrlo brzo utvrditi poboljšanja ili pogoršanja koja su u nekoj fazi dizajna unesena u zvuk uređaja. Prvi korak pri postizanju ovog cilja je pronalaženje onih objektivnih parametara koji će biti od najveće koristi pri stvaranju modela kojima će biti moguće u razumnoj mjeri predvidjeti subjektivne ocjene ispitanika koje bi oni dali takvom zvuku. Radi pronalaženja objektivnih parametara koji zadovoljavaju postavljeni uvjet, tražena je korelacija vrijednosti objektivnih i subjektivnih parametara dobivenih za zvukove stvarnih uređaja koji su u fazi subjektivnih ispitivanja reproducirani ispitanicima. Radi sprečavanja zamora kod ispitanika prilikom provedbe subjektivnih ispitivanja, broj uređaja pojedinog tipa ograničen je na 6, odnosno 7, a analiza korelacije objektivnih i subjektivnih parametara za pojedine je radne faze provedena za sve uređaje koji su sudjelovali u ispitivanjima, čime i veličina uzorka na kojem se analiza provodi postaje relevantna. Analiza je provedena uz pretpostavku da se način razmišljanja ispitanika nije značajno mijenjao u ovisnosti o tipu uređaja čija su svojstva ocjenjivali, tj. da su se ispitanici pri ocjenjivanju zvuka i svojstava svih triju tipova uređaja vodili nekim općenitim kriterijima. U obzir je uzet zvuk uređaja pri radu u praznom hodu i zaustavljanju.

U tablicama pokazanim u dodatku A, prikazani su rezultati ove analize. Dobivene vrijednosti koeficijenta korelacije objektivnih i subjektivnih parametara označene su ovisno o značajnosti, kako bi bilo moguće utvrditi i razlikovati objektivne parametre, odnosno njihovu iskoristivost pri formiranju modela pojedinih subjektivnih parametara. Pritom su definirane tri razine značajnosti, i to 0,05, 0,01 te 0,001. Koeficijenti korelacije čije su apsolutne vrijednosti dostigle ili premašile granične vrijednosti zadane definiranim razinama značajnosti označeni su redom žutom, narančastom i crvenom bojom.

Koeficijenti korelacije za koje je utvrđeno da nisu statistički značajni nisu označeni bojom. Način označavanja statistički značajnih koeficijenata korelacije pokazan je u tablici 5.1.

Tablica 5.1. Granične vrijednosti koeficijenta korelacije r izračunate za definirane razine značajnosti uz zadani broj uzoraka N

Broj uzoraka N	Razina statističke značajnosti (dvostrano)		
	0,05	0,01	0,001
19	0,455	0,575	0,693

5.1.1. Prazan hod

Rezultati analize korelacije objektivnih i subjektivnih parametara dobivenih za zvuk uređaja u praznom hodu u cjelovitom su obliku prikazani tablicom A16_1 u dodatku A. Pritom su iz njih uklonjeni oni objektivni parametri za koje nije bilo moguće dobiti relevantnu vrijednost. Iz rezultata je vidljivo da je većina subjektivnih parametara opisa zvuka u statistički značajnoj korelaciji s barem jednim objektivnim parametrom. Izuzetak su subjektivni parametri čistoće i jasnoće zvuka koji nemaju uporište u točno određenoj karakteristici zvuka, nego je vjerojatnije da ih svaki ispitanik shvaća na samo njemu svojstven način. S obzirom na to da se ova dva parametra nisu pokazala relevantnima za opis zvuka uređaja uključenih u istraživanje, u budućnosti će oni biti uklonjeni ili nadomješteni prikladnijim parametrima. Rezultati pokazuju da je subjektivna glasnoća u snažnoj korelaciji s istoimenim objektivnim parametrom, kao i s razinom zvučnog tlaka.

Subjektivna je oštrina dobro predstavljena istoimenim objektivnim parametrom. Pokazuje se da Auresov model računanja oštrine, kod kojeg je oštrina zvuka usko povezana s njegovom glasnoćom, daje vrijednosti koje bolje opisuju način na koji ispitanici doživljavaju ovu karakteristiku zvuka nego što je to slučaj s Zwickerovim modelom. Vidljivo je i to da je subjektivna oštrina u snažnoj korelaciji s objektivnom glasnoćom, što potvrđuje gornji zaključak.

Hrapavost zvuka u značajnoj je korelaciji s objektivnom grubošću te s procijenjenom vrijednošću indeksa modulacije dobivenom za modulacijske frekvencije niže od 150 Hz pa se može zaključiti da je osjet hrapavosti zvuka potaknut prije svega brzim promjenama amplitude, bez obzira radi li se o slučajnim promjenama ili periodičkim promjenama u obliku čujne amplitudne modulacije.

Na osjet stabilnosti zvuka negativno utječe kolebanje predstavljeno jačinom kolebanja i statističkim parametrima glasnoće, a donekle i tonalni karakter zvuka opisan objektivnim parametrom tonalnosti izračunatim po Auresovom modelu. Za osjet drhtavosti općenito su odgovorne bilo kakve promjene amplitude, i one brze, opisane objektivnom grubošću, i one spore, opisane jačinom kolebanja. Statistički parametri glasnoće te procijenjeni indeksi modulacije također se mogu iskoristiti za modeliranje osjeta drhtavosti zvuka.

Prigušenost zvuka ispitanici doživljavaju upravo suprotnom glasnoći i s njom vezanoj oštrini, što je vidljivo iz činjenice da su s tim parametrom u snažnoj negativnoj korelaciji upravo objektivna glasnoća i oštrina te razina zvučnog tlaka, dakle, isti oni parametri koji se vežu i sa subjektivnom glasnoćom i oštrinom. Osjet pucketavosti i šuštavosti zvuka također je posljedica brzih promjena amplitude opisanih objektivnom grubošću, procijenjenim indeksima modulacije i statističkim parametrima glasnoće. Osjet grubosti zvuka potaknut je prije svega njegovom glasnoćom i oštrinom, a može se opisati istoimenim objektivnim parametrima, ali i objektivnom grubošću i jačinom kolebanja te procijenjenim indeksima modulacije. Konačno, zujanje, zavijanje i zviždanje prisutno u zvuku nekog uređaja usko je vezano uz tonalni karakter zvuka, a zviždanje se dodatno može opisati objektivnom glasnoćom i oštrinom zvuka.

Na subjektivni doživljaj zvuka daleko najviše utječu glasnoća i oštrina opisane istoimenim objektivnim parametrima i kolebanje amplitude opisano jačinom kolebanja, procijenjenim indeksom amplitudne modulacije ili statističkim parametrima glasnoće.

U tablici A16_2 u dodatku A pokazan je dio rezultata korelacijske analize koji je od osobitog značaja jer će na temelju tih rezultata biti izabrani objektivni parametri kojima će biti modelirana ocjena neugode zvuka te ocjene doživljaja svojstava sâmog uređaja. Kako je vidljivo iz tablice, subjektivno ocijenjena neugoda najjače korelira s objektivnom oštrinom zvuka dobivenom pomoću Auresovog modela. Nadalje, neugoda je usko vezana s glasnoćom zvuka, ali je, pomalo neočekivano, jača korelacija dobivena s izmjerenom razinom zvučnog tlaka, pri čemu je koeficijent korelacije najveći između neugode i razine zvučnog tlaka izmjerene upravo uz linearnu težinsku funkciju. Osim glasnoće i oštrine, na doživljaj neugode utječe i pojava kolebanja amplitude u signalu opisana indeksom modulacije procijenjenim u inicijalnom koraku analize vremenske ovojnice signala, kao i logaritamskim omjerom ukupne snage modulacijskih komponenata i ukupne snage signala. Svi navedeni objektivni parametri izravno su povezani i s dojmom sigurnosti uređaja, koja se, osim ovih parametara, može opisati i parametrima statističke glasnoće.

Dojmovi robusnosti i snage uređaja slabo su povezani s objektivnim parametrima, što je posljedica nesigurnosti koju su iskazali ispitanici pri ocjeni tih svojstava uređaja. Dojam cijene, kvalitete i ispravnosti uređaja nije povezan s objektivnom glasnoćom, što je vidljivo iz odgovarajućih koeficijenata korelacije čije su apsolutne vrijednosti redom bliske nuli. Pokazuje se da su sva tri parametra izravno povezana s objektivnom oštrinom zvuka, ovaj puta dobivenom po Zwickerovom modelu, koja, za razliku od one dobivene po Auresu, nije korelirana s objektivnom glasnoćom. Najveći utjecaj na doživljaj spomenutih svojstava uređaja ima pojava kolebanja glasnoće zvuka, bez obzira na to je li to kolebanje posljedica strogo periodičke amplitudne modulacije ili se radi o slučajnim kolebanjima. Stoga se dobivene subjektivne ocjene najbolje mogu objasniti parametrima statističke glasnoće i procijenjenim indeksima modulacije. Ispitanicima je pri ocjenjivanju bilo najlakše povezati pojavu kolebanja s dojmom ispravnosti uređaja, a najteže s ukupnim dojmom njegove kvalitete, sudeći po dobivenim vrijednostima odgovarajućih koeficijenata korelacije.

Zaključuje se da se doživljaj neugode zvuka i parametri doživljaja svojstava uređaja mogu svrstati u dvije grupe. U jednoj su grupi subjektivna neugoda izazvana zvukom uređaja te dojam opasnosti, odnosno sigurnosti sâmog uređaja. Na oba parametra presudan utjecaj ima glasnoća zvuka, predstavljena objektivnom glasnoćom ili razinom zvučnog tlaka. Ove parametre nazivamo primarnima jer je upravo glasnoća zvuka kriterij kojim se čovjek oduvijek vodio pri procjeni moguće opasnosti za vlastiti opstanak, što je u obliku instinkta preživjelo do današnjeg dana. Preostale parametre, na koje glasnoća zvuka nema nikakav utjecaj, nazivamo sekundarnima. To ne znači da su oni manje važni, već, upravo suprotno, njihove ocjene počivaju na sposobnosti ispitanika da zanemare glasnoću kao grub i nepotpun opis nekog zvuka te da se pri ocjeni ovih parametara usredotoče na vrednovanje složenijih struktura od kojih se zvuk sastoji.

Želja za kupnjom nekog uređaja koju su iskazali ispitanici povezana je s razinom zvučnog tlaka zvuka uređaja kao i s oštrinom zvuka, ali i s parametrima kojima se opisuje kolebanje amplitude ili glasnoće zvuka, dakle, procijenjenim indeksom modulacije te statističkim parametrima glasnoće. Ovakav rezultat upućuje na to da je želja za kupnjom iskazana samo na temelju zvuka nekog uređaja uvjetovana pažljivom procjenom mogućeg dobitka u odnosu na moguću opasnost, u smislu da visoka ocjena kvalitete sâma za sebe neće biti odlučujući faktor koji će predstavljati poticaj za kupnju nekog uređaja, već će značajnu ulogu pri takvoj odluci igrati i neugoda izazvana zvukom tog uređaja, kao i ukupni dojam sigurnosti uređaja.

5.1.2. Zaustavljanje

Rezultati analize korelacije objektivnih i subjektivnih parametara dobivenih za zvuk uređaja pri zaustavljanju prikazani su u tablici A17_1 u dodatku A. Pri tome su zbog opsežnosti podataka iz prikaza uklonjeni objektivni parametri dobiveni iz glasnoće izračunate za zaustavljanje prema Mooreovom i Glasbergovom modelu jer su koeficijenti korelacije tih parametara sa subjektivnim parametrima gotovo identični onima dobivenima korelacijom subjektivnih parametara i objektivnih parametara izvedenih iz glasnoće dobivene Zwickerovim modelom. Isto tako, u prikaz nisu uvršteni ni objektivni parametri izvedeni iz statističke analize spektrograma glasnoće jer je utvrđeno da oni nisu u statistički značajnoj korelaciji sa subjektivnim parametrima.

Koeficijenti korelacije prikazani u spomenutoj tablici zorno pokazuju da su i u slučaju zvuka uređaja u zaustavljanju upravo kolebanje, odnosno promjene u strukturi glasnoće tog zvuka dominantan čimbenik koji utječe na subjektivni opis, odnosno doživljaj zvuka te doživljaj sâmog uređaja, što je potkrijepljeno statistički značajnim vrijednostima koeficijenata korelacije između pojedinih subjektivnih parametara i objektivnih parametara koji opisuju spomenute promjene. Od preostalih objektivnih parametara koji opisuju promjenu objektivne oštine, grubosti, kolebanja i tonalnosti zvuka tijekom zaustavljanja te stvarnog vremena zaustavljanja pojedinih uređaja, pokazuje se da su za ocjenu zvuka zaustavljanja najvažnije stvarne vrijednosti parametara oštine, grubosti i kolebanja koje oni poprimaju na sâmom početku zaustavljanja uređaja. Iz tablice je vidljivo da se pomoću kolebanja glasnoće mogu opisati oni subjektivni parametri opisa zvuka kod kojih se i očekuje da će upravo spomenuta pojava imati utjecaja na ocjenu tih parametara, a to su hrapavost, drhtavost, grubost, stabilnost, pucketavost i donekle jasnoća zvuka. Najveću važnost imaju parametri oblika $(\Delta N_{\text{rel}})_x$ koji predstavljaju percentile kolebanja glasnoće pri zaustavljanju. Isti su subjektivni parametri opisani i parametrom A_{Nrel} koji predstavlja ukupnu količinu kolebanja. Pritom je važan i trend promjene kolebanja pri zaustavljanju koji pokazuje da je za subjektivni dojam karaktera nekog zvuka nepovoljno kada se kolebanje glasnoće povećava s vremenom, dakle, prema kraju intervala zaustavljanja. Početna vrijednost oštine izračunate po Auresu može se također dovesti u vezu s nabrojanim subjektivnim parametrima te sa subjektivnom oštrinom i glasnoćom, kao i kod zvukova uređaja u praznom hodu. Zujavost, zavijanje i zviždanje opisuju se prvenstveno početnim vrijednostima jačine kolebanja i tonalnosti.

I subjektivni parametri doživljaja zvuka mogu se opisati istim objektivnim parametrima, pri čemu je najteže opisati doživljaj moći zvuka, kao i pri praznom hodu. I u ovom su slučaju najkorisniji objektivni parametri kojima je opisano kolebanje glasnoće te početne vrijednosti oštine, grubosti i jačine kolebanja. Valja napomenuti da je ispitanicima bilo mnogo teže ocijeniti subjektivne parametre doživljaja zvuka koji se smatraju pozitivnim, kao što su njegova ljepota, moć ili privlačnost, što se odražava u nepostojanju statistički značajne korelacije ocjena tih parametara gotovo ni s jednim objektivnim parametrom. Nasuprot tome, negativne aspekte doživljaja zvuka ispitanici su ocijenili sasvim decidirano. Zaključak koji se nameće jest da nije moguće pronaći objektivne parametre kojima bi se mogli opisati određeni aspekti karaktera ili doživljaja zvuka, ako te aspekte ni sâmi ispitanici nisu mogli razlikovati u zvukovima pojedinih uređaja. Iskazana nesigurnost ispitanika odražava se u njihovim ocjenama odgovarajućih subjektivnih parametara, koji time postaju gotovo slučajne varijable. Jedini subjektivni parametar doživljaja zvuka koji se može opisati objektivnim parametrima koji ne vrednuju kolebanje glasnoće ili preostale nabrojane parametre jest monotonost zvuka, za koju je utvrđena statistički značajna korelacija s parametrima koji opisuju linearnost pada glasnoće u intervalu zaustavljanja, odnosno odstupanje toga pada od linearnosti.

U tablici A17_2 u dodatku A pokazan je dio rezultata korelacijske analize koji se odnosi na korelaciju objektivnih parametara sa subjektivnim ocjenama doživljaja neugode zvuka te doživljaja svojstava uređaja. Rezultati jasno pokazuju da je u procesu zaustavljanja doživljaj neugode zvuka i svojstava uređaja određen gotovo isključivo kolebanjem glasnoće te se može opisati odgovarajućim objektivnim parametrima. Značajnu ulogu ima i početna vrijednost objektivne oštine, grubosti i, u nešto manjoj mjeri, jačine kolebanja. Pritom najveći problem predstavlja opisivanje dojma robusnosti i snage uređaja, s kojima su i sâmi ispitanici imali najviše problema pri subjektivnom ocjenjivanju. Za razliku od zvukova uređaja pri radu u praznom hodu, kod kojih je ispitanicima bilo najlakše ocijeniti sigurnost nekog uređaja, rezultati dobiveni za zvukove uređaja u zaustavljanju pokazuju da je u ovom slučaju najlakše ocijeniti i opisati stupanj ispravnosti nekog uređaja te da ta ocjena jako ovisi o veličini kolebanja glasnoće te početnoj oštini i grubosti zvuka. Više vrijednosti ovih objektivnih parametara utvrđene za zvuk nekog uređaja naznačavaju snažniji doživljaj neugode koju taj zvuk izaziva, u skladu sa subjektivnim ocjenama ispitanika, kao i dojam da je uređaj opasan, jeftin, nekvalitetan i prije svega neispravan, a također opisuju i smanjenu želju ispitanika za kupnjom takvog uređaja.

5.2. Modeliranje subjektivnih ocjena svojstava uređaja na temelju objektivnih parametara zvučne slike

Posljednji korak u ispitivanjima kvalitete zvuka jest formiranje modela kojima će se moći opisati subjektivne ocjene dobivene ispitivanjima na zvukovima stvarnih uređaja na temelju objektivnih parametara dobivenih objektivnom analizom tih istih zvukova. No, još važnija uloga formiranih modela jest otvaranje mogućnosti predviđanja subjektivnih ocjena kojima bi ispitanici ocijenili doživljaj zvuka ili neko svojstvo uređaja koji ga proizvodi. Time je umanjena ili u potpunosti uklonjena potreba za provedbom subjektivnih ispitivanja jer je uspostavljen sustav objektivnih parametara kojima se, u razumnoj mjeri, mogu opisati rezultati koji bi bili dobiveni subjektivnim ispitivanjima. Na temelju ocjena postojećih uređaja određenog tipa i odgovarajućih objektivnih parametara formiraju se modeli na temelju kojih će biti moguće zaključiti u kojem smjeru je potrebno krenuti pri dizajnu zvuka novog uređaja toga tipa ili pri izmjeni zvuka nekog postojećeg uređaja.

Osim za ocjenu neugode izazvane zvukom uređaja te kvalitete uređaja, modeli su definirani za ocjenu sigurnosti, ispravnosti, vrijednosti i želje za kupnjom uređaja, dok za robusnost i snagu uređaja nije bilo moguće izraditi valjane modele. Uzrok dobivanja ovakvih rezultata jest veličina raspona srednjih vrijednosti izvornih subjektivnih ocjena dobivenih pri provedbi subjektivnih ispitivanja, koja odražava sposobnost ispitanika da razlikuju određeni subjektivni parametar koji ocjenjuju na temelju zvuka uređaja koji slušaju. Pokazuje se da je opisani raspon ocjena veći pri ocjeni zvukova uređaja pri zaustavljanju od onog korištenog za ocjenu zvukova uređaja pri radu u praznom hodu za sve parametre osim neugode, pri čemu je najveća razlika uočena kod parametara kvalitete i ispravnosti. Za rad uređaja u praznom hodu ispitanici su daleko najlakše razlikovali neugodu izazvanu zvukom uređaja, a vrlo loše rezultate pokazali su upravo pri ocjenjivanju robusnosti i snage uređaja, dok su pri zaustavljanju podjednako dobro razlikovali neugodu, kvalitetu i ispravnost, nešto slabije sigurnost i cijenu, a ponovno vrlo loše robusnost i snagu. Dobiveni rezultati nepobitno potvrđuju opravdanost uključivanja zvuka uređaja pri zaustavljanju u ispitni proces kao nositelja informacije koja može biti presudna za konačnu ocjenu svojstava nekog uređaja.

Izbor objektivnih parametara koji će biti upotrijebljeni pri izradi modela temelji se na analizi korelacije objektivnih i subjektivnih parametara opisane u prethodnom odjeljku. Za modeliranje pojedinog subjektivnog parametra u obzir dolaze oni objektivni parametri za koje je utvrđena statistički značajna korelacija s tim subjektivnim parametrom. Naglasak se

stavlja na one objektivne parametre za koje su utvrđene najveće apsolutne vrijednosti koeficijenta korelacije sa spomenutim subjektivnim parametrom. Pritom valja voditi računa i o činjenici da određeni parovi objektivnih parametara i sâmi međusobno koreliraju, što može imati znatan utjecaj na formiranje modela ukoliko se izboru objektivnih parametara ne posveti odgovarajuća pažnja.

Matematička metoda izabrana za izradu predloženih modela jest metoda višestruke linearne regresije, ukratko opisana u prilogu 3D. Primjenom ove metode načinjen je posljednji korak u istraživanju, tj. dobiveni su indeksi kojima se može vrednovati i ocijeniti neugoda izazvana zvukom uređaja, odnosno svojstva sâmh uređaja. Pri izradi modela kao nezavisne varijable uzeti su objektivni parametri dobiveni analizom uzoraka zvuka snimljenih na početku istraživanja radi reprodukcije ispitanicima pri provedbi subjektivnih ispitivanja. Kao zavisne varijable upotrijebljeni su subjektivni parametri koje su ispitanici ocjenjivali tijekom subjektivnih ispitivanja, a koji opisuju upravo neugodu izazvanu zvukom uređaja te svojstva uređaja.

Pri izradi modela postavljena su određena ograničenja bez kojih modele ne bi bilo moguće načiniti. Odlučeno je da se izrade modeli općenitog karaktera, što znači da su oni načinjeni na temelju rezultata subjektivnih ispitivanja i objektivne analize načinjene za sva tri tipa uređaja, odnosno za sve primjerke uređaja uključenih u ispitivanje. Za potrebe izrade modela uzete su izvorne ocjene pojedinih subjektivnih parametara, odnosno njihove srednje vrijednosti. Naime, dodatna analiza pokazala je da su srednje vrijednosti izvornih subjektivnih ocjena određenog parametra u gotovo savršenoj korelaciji sa srednjim vrijednostima normiranih subjektivnih ocjena, pri čemu je koeficijent korelacije veći od 0,98. Kada bi modeli bili izrađeni na temelju normiranih subjektivnih ocjena, tada bi njihova primjena bila ograničena isključivo na objašnjenje veza među podacima na kojima se modeli temelje, dok bi predviđanje subjektivnih ocjena svojstava nekih novih uređaja koji nisu bili uključeni u ispitivanje bilo nemoguće. Razlog tome je što su normirane ocjene dobivene na temelju ocjena svih uređaja uključenih u izvorno ispitivanje tj. pri normiranju se koristi srednja vrijednost i standardna devijacija cijelog uzorka, pa sâmim time nisu sasvim neovisne jedna o drugoj. Upravo bi zbog toga bilo nemoguće u tako dobiven skup podataka uključiti podatke o nekom novom uređaju jer bi se time promijenile vrijednosti svih normiranih ocjena, čime bi i izvorni model izgubio svoju važnost. Još je važnija činjenica da normirane ocjene nisu apsolutnog, već relativnog karaktera, pri čemu njihov raspon uvelike ovisi o izvornim ocjenama na temelju kojih su dobivene. Taj raspon može jako varirati, pri čemu nije jasno što predstavljaju krajnje vrijednosti toga raspona,

koje se osim toga mogu značajno razlikovati od parametra do parametra. S druge strane, kod izvornih je ocjena njihov raspon stalan i ima točno definirano značenje koje je jednako za sve subjektivne parametre. U model načinjen na temelju izvornih ocjena uvijek je moguće uvrstiti vrijednosti objektivnih parametara dobivene za novi uređaj i dobiti predviđenu subjektivnu ocjenu parametra za koji je model načinjen, na temelju koje se izravno ocjenjuje određeno svojstvo tog uređaja ili zvuka koji ovaj proizvodi pri radu.

Kao i pri korelacijskoj analizi, i pri izradi modela uzet je u obzir samo rad uređaja u praznom hodu i pri zaustavljanju, a modeli su izrađeni posebno za svaku od te dvije radne faze.

Izbor objektivnih parametara za izradu pojedinih modela temelji se na rezultatima analize korelacije pojedinih objektivnih parametara i subjektivnih parametara za koje je potrebno izraditi modele. Pri tome su kao mogući kandidati za određeni model uzeti svi objektivni parametri koji su u statistički značajnoj korelaciji sa subjektivnim parametrom za koji se model izrađuje, i to uz razinu značajnosti 0,05. Valja naglasiti da su pojedini definirani objektivni parametri već svojom definicijom vrlo slični pa je zbog toga pri izboru objektivnih parametara za pojedine modele uzet samo jedan predstavnik takve 'grupe'. Primjerice, glasnoća računata po Zwickerovom modelu u gotovo savršenoj je korelaciji s glasnoćom računatom po Mooreovom i Glasbergovom modelu, što znači da obje istovremeno mogu predstavljati jednakovrijedne potencijalne kandidate koji se mogu iskoristiti pri izradi određenog modela. Isti je slučaj s parametrima oblika $N_{x,50}$, koji predstavljaju jednu od mjera kolebanja glasnoće, pri čemu je $x = 1, 5, 10$ i 25 . Očekivano, sva četiri parametra ovog tipa u snažnoj su međusobnoj korelaciji te je pri izradi modela dovoljno iskoristiti samo jednog od njih ukoliko se pokaže da takav parametar može doprinijeti reprezentativnosti modela. Ukoliko je u model uključeno više parametara, odnosno nezavisnih varijabli koje su u snažnoj međusobnoj korelaciji, reprezentativnost modela neće se poboljšati, već će, naprotiv, biti pogoršana. Razlog tome je što je tada u modelu sadržana velika količina redundantne informacije koju nose dvije ili više sličnih varijabli, broj parametara u modelu veći je od minimalno potrebnog uz zadanu količinu informacije, a multikolinearnost koja je prisutna zbog takvog izbora parametara narušava stabilnost procjene regresijskih koeficijenata modela i potrebno je pribjeći alternativnim metodama procjene.

S obzirom na veličinu uzorka određenu ukupnim brojem uređaja uključenih u ispitivanje, postavljeno je ograničenje na broj parametara koji mogu biti uključeni u pojedine modele tako da je u svaki model uključeno najviše tri objektivna parametra kao nezavisne

varijable. Iako se opisani zahtjev na prvi pogled doima ograničavajućim u smislu da zbog malog broja nezavisnih varijabli neće biti moguće postići visoku reprezentativnost modela, tijekom izrade samih modela pokazalo se da povećanje broja objektivnih parametara, odnosno nezavisnih varijabli ne donosi nužno i poboljšanje modela zbog prije opisanih razloga. Štoviše, ukoliko se u model uvrsti više objektivnih parametara kojima se pokušava opisati ista pojava, redovito dolazi do pogoršanja, odnosno smanjenja reprezentativnosti modela, a model se destabilizira zbog pojave multikolinearnosti.

Uz dovoljan broj međusobno nezavisnih varijabli, u ovom slučaju objektivnih parametara, može se izraditi visokoreprezentativan model neke zavisne varijable, u ovom slučaju subjektivnog parametra, što je pristup kojemu je ponekad teško odoljeti. Međutim, u ovom slučaju takav model ne bi bio valjan i ne bi ga bilo moguće iskoristiti niti za interpretaciju vrijednosti objektivnih i subjektivnih parametara dobivenih izvornom analizom i ispitivanjima zvukova izvornih uređaja, a još manje za predviđanje mogućih vrijednosti subjektivnih ocjena za druge uređaje. Zbog toga je pri izboru objektivnih parametara posebna pažnja posvećena upravo tome da u užu krug izabranih uđu oni parametri koji opisuju pojave za koje se pretpostavlja da su relevantne za subjektivni doživljaj, prema shvaćanjima i mišljenju ispitanika.

Općenito govoreći, reprezentativnost modela izrađenih na temelju subjektivnih ispitivanja ovisit će o nekoliko čimbenika. Prvo, nužno je osigurati bazu uzoraka zvuka uređaja koji će biti što je moguće različitijeg karaktera, pri čemu je glasnoća zvuka, odnosno pripadna razina zvučnog tlaka samo jedna od parametara kojima valja posvetiti pozornost. Time je pri izradi modela moguće jasnije odrediti važnost svakog aspekta karaktera zvuka, odnosno važnost odgovarajućeg objektivnog parametra. Drugi važan čimbenik pri izradi modela jest pronalaženje odgovarajućih objektivnih parametara kojima će na najbolji mogući način biti predstavljen način razmišljanja ispitanika pri donošenju suda o nekom subjektivnom parametru. Treći i možda najvažniji čimbenik jest dosljednost ispitanika pri davanju ocjena, tj. za uspostavljanje jasnih veza između pojedinih subjektivnih i objektivnih parametara nužno je da ispitanici pri formiranju mišljenja uspostave jedinstvene i čvrste kriterije prema kojima u konačnici donose svoj sud o nekom svojstvu zvuka uređaja ili, pak, samog uređaja, u obliku ocjene odgovarajućeg subjektivnog parametra. U ovom istraživanju utvrđeno je postojanje takvih kriterija na razini cijele ispitne grupe, dok je analiza ocjena svakog pojedinog ispitanika pokazala da se formiranje spomenutih kriterija može očekivati tek u iznimnim slučajevima.

5.2.1. Predloženi modeli ocjene neugode izazvane zvukom uređaja

Osjet neugode izazvan zvukom koji neki uređaj proizvodi pri radu predstavlja izravnu ljudsku reakciju na taj zvuk i stoga ga je lako povezati s određenim objektivnim karakteristikama zvuka na temelju kojih se tada izrađuju modeli. Analizom rezultata subjektivnih ispitivanja i njihovom usporedbom s rezultatima objektivne analize utvrđeno je da ispitanici neugodu zvuka povezuju prvenstveno s količinom primljene zvučne energije koja se opisuje parametrima kao što su glasnoća ili razina zvučnog tlaka. Nadalje, oštrina zvuka također ima vrlo značajnu ulogu, pri čemu su njezine vrijednosti izračunate po Auresovom modelu u snažnijoj korelaciji s osjetom neugode nego vrijednosti izračunate po Zwickerovom modelu. No Auresova oštrina, za razliku od Zwickerove, jako ovisi o glasnoći, što objašnjava dobivene rezultate. Stoga je za modeliranje ocjene neugode uzrokovane zvukom uređaja pri radu u praznom hodu uzeta oštrina izračunata po Zwickeru, koja nosi nove informacije nevezane uz glasnoću zvuka. Treća važna pojava koja utječe na dojam neugode zvuka, ali i na ocjene svojstava sâmihih uređaja, jest kolebanje, odnosno promjene u vremenskoj strukturi signala opisane parametrima kolebanja glasnoće, jačine kolebanja, grubosti ili, pak, parametrima dobivenim analizom vremenske ovojnice, kao što je procijenjeni indeks modulacije.

Uzevši u obzir sve navedeno, izrađeni su modeli ocjene neugode izazvane zvukom uređaja pri radu u praznom hodu, kao i pri zaustavljanju, kojima su dobiveni indeksi neugode UI_{ph} za rad u praznom hodu i UI_{zs} za rad u zaustavljanju, prikazani izrazima:

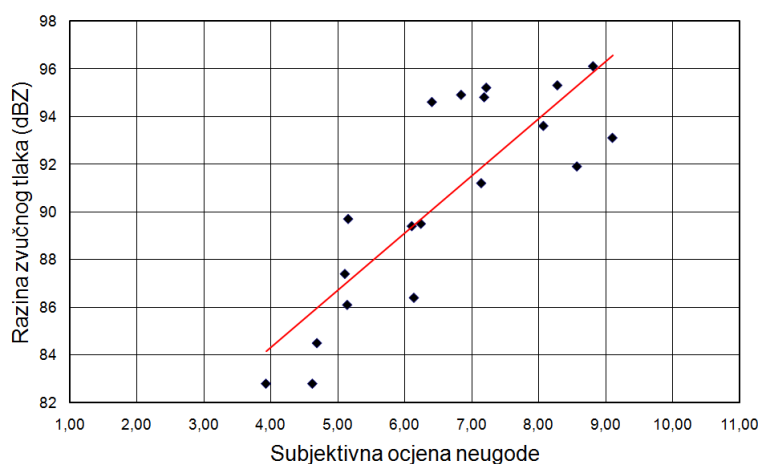
$$UI_{ph} = -20,90 + 0,24 \cdot SPL[\text{dBZ}] + 3,19 \cdot S_z[\text{acum}] + 0,08 \cdot R_{mt}[\text{dB}] \quad (5.1)$$

$$UI_{zs} = -1,24 + 0,29 \cdot A_{Nrel_Z_500}[\%] + 0,44 \cdot S_{a0}[\text{acum}] + 4,75 \cdot F_0[\text{vacil}] \quad (5.2)$$

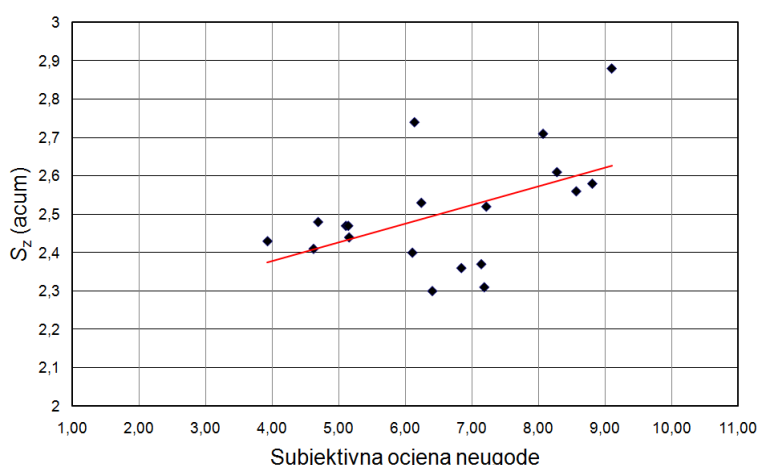
Pritom je za izradu modela ocjene neugode za prazan hod upotrijebljena razina zvučnog tlaka SPL mjerena linearno, oštrina S_z dobivena Zwickerovim modelom i logaritamski omjer snage modulacijskih komponenata i ukupne snage signala R_{mt} dobiven analizom vremenske ovojnice signala. U modelu ocjene neugode izrađenom za zaustavljanje upotrijebljen je parametar $A_{Nrel_Z_500}$ kojim se može predstaviti ukupna količina kolebanja u cijelom intervalu zaustavljanja, pri čemu je stavljena i dodatna naznaka da je ovaj parametar dobiven iz vremenski promjenjive glasnoće izračunate po Zwickerovom modelu usrednjene na intervalu od 500 ms u procesu računanja kolebanja. U model je uvrštena i

vrijednost oštine izračunate po Auresu na početku intervala zaustavljanja S_{a0} te vrijednost jačine kolebanja na početku intervala zaustavljanja F_0 . Naime, analiza korelacije pokazala je da su za ocjenu neugode zvuka, ali i svojstava samih uređaja temeljenu na zvuku pri zaustavljanju vrlo važne vrijednosti koje osnovni parametri kao što su oština, grubost i jačina kolebanja poprimaju na početku intervala zaustavljanja. Pritom se pokazuje da, za razliku od praznog hoda, pri zaustavljanju vrlo važnu ulogu ima oština dobivena Auresovim modelom.

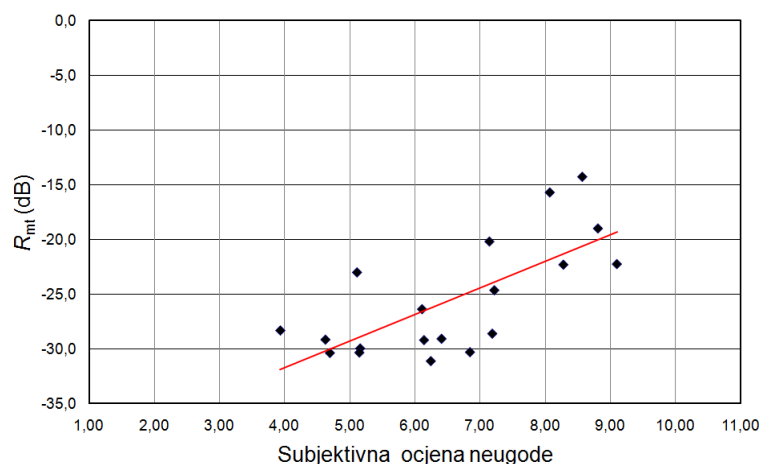
Na slikama 5.1 do 5.6 prikazani su raspršni grafikoni subjektivnih ocjena neugode u odnosu na gore spomenute objektivne parametre.



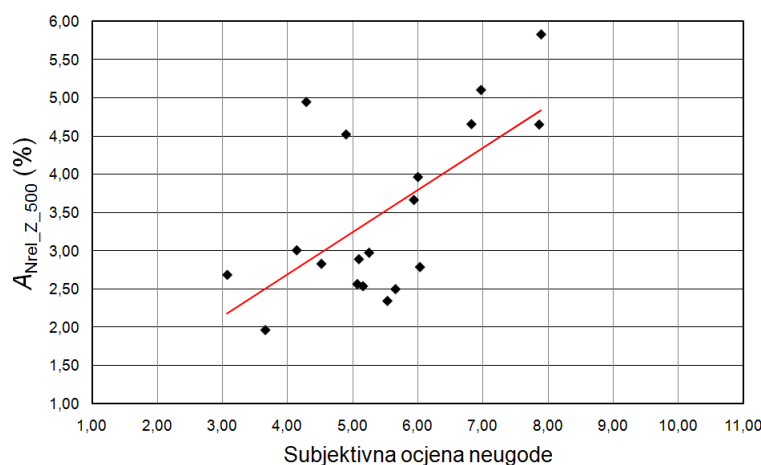
Slika 5.1. Raspršni grafikon subjektivnih ocjena neugode za zvuk uređaja u praznom hodu u odnosu na izmjerenu linearnu razinu zvučnog tlaka



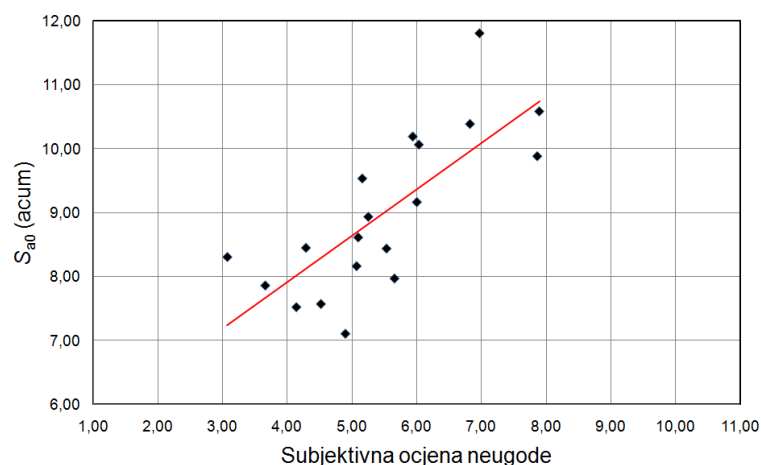
Slika 5.2. Raspršni grafikon subjektivnih ocjena neugode za zvuk uređaja u praznom hodu u odnosu na objektivnu oštinu dobivenu Zwickerovim modelom



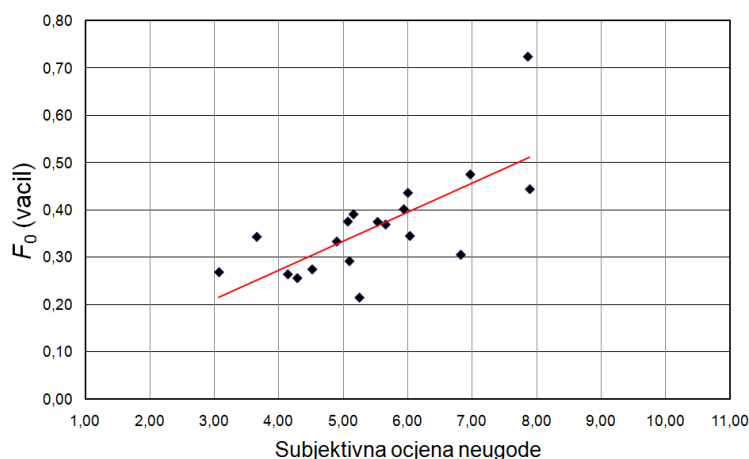
Slika 5.3. Raspršni grafikon subjektivnih ocjena neugode za zvuk uređaja u praznom hodu u odnosu na logaritamski omjer snage modulacijskih komponenata i ukupne snage signala



Slika 5.4. Raspršni grafikon subjektivnih ocjena neugode za zvuk uređaja pri zaustavljanju u odnosu na ukupnu količinu kolebanja tijekom zaustavljanja



Slika 5.5. Raspršni grafikon subjektivnih ocjena neugode za zvuk uređaja pri zaustavljanju u odnosu na početnu vrijednost oštine dobivene po Auresu



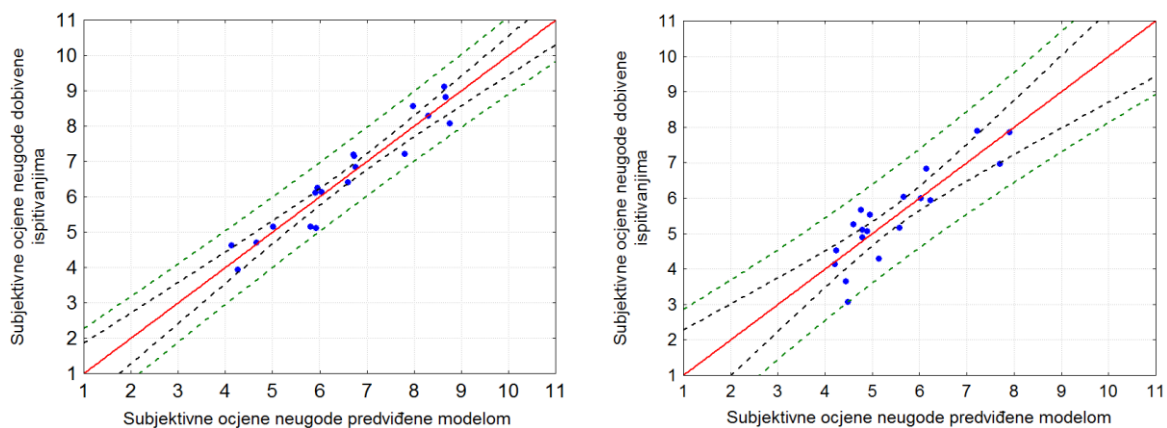
Slika 5.6. Raspršni grafikon subjektivnih ocjena neugode za zvuk uređaja pri zaustavljanju u odnosu na početnu vrijednost jačine kolebanja

Na prikazanim je grafikonima vidljiva veza svakog od izabranih objektivnih parametara sa iskazanim subjektivnim ocjenama neugode izazvane zvukom uređaja. Pritom se ta veza najjasnije uočava između izmjerene linearne razine zvučnog tlaka zvuka uređaja u praznom hodu i subjektivnih ocjena neugode, što podupire i odgovarajući koeficijent korelacije u iznosu od 0,83. Povezanost ostalih objektivnih parametara sa subjektivnim ocjenama neugode nije tako eksplicitna, čemu svjedoče i odgovarajući koeficijenti korelacije koji ne dostižu navedenu vrijednost. Jasno je da na pojačanje osjeta neugode utječe naglašavanje pojedinih svojstava zvuka koje se odražava kroz povećanje vrijednosti odgovarajućih objektivnih parametara. Tako će povećanje razine zvučnog tlaka nekog zvuka, odnosno njegove glasnoće, zatim njegove oštrine, grubosti, jačine kolebanja ili bilo kojeg parametra koji opisuje promjene u vremenskoj strukturi zvuka izazvati pojačanje osjeta neugode. Takvu povezanost ovih parametara, odnosno pojava koje oni opisuju sa subjektivnim osjetom neugode zorno pokazuju i modeli prikazani izrazima 5.1 i 5.2.

Valja napomenuti da dobiveni modeli ocjene neugode zvuka uređaja, ali i njihovih svojstava funkcioniraju valjano samo unutar područja definiranog rasponima vrijednosti objektivnih parametara kao nezavisnih varijabli te rasponom vrijednosti koje poprima modelirani subjektivni parametar kao zavisna varijabla. Ukoliko se za neki novi uređaj dobiju vrijednosti potrebnih objektivnih parametara koje se nalaze unutar inicijalno definiranih raspona, tada se uvrštavanjem tih vrijednosti u model provodi interpolacija unutar postojećih vrijednosti te model u tom slučaju daje korektnu vrijednost modeliranog subjektivnog parametra. No, ukoliko se vrijednosti objektivnih parametara nalaze izvan definiranih raspona, tada se njihovim uvrštavanjem u model provodi ekstrapolacija i u tom

slučaju valja biti vrlo oprezan prilikom tumačenja dobivenih rezultata. Primjerice, pri izračunu indeksa neugode za prazan hod UI_{ph} uz vrijednosti objektivnih parametara $SPL = 50$ dB, $S_z = 2,5$ acum i $R_{mt} = -20$ dB dobiva se indeks neugode u iznosu $UI_{ph} \approx -2,5$. Ako se vrijednost razine zvučnog tlaka poveća na $SPL = 115$ dB, dobiveni indeks neugode iznosit će $UI_{ph} \approx 13$. Budući da su izvorne subjektivne ocjene na kojima se model temelji definirane u rasponu od 1 do 11, očito je da se u oba gornja slučaja dobiveni indeks neugode nalazi izvan definiranog raspona, i to zbog toga što se i razina zvučnog tlaka također nalazi izvan za nju definiranog raspona. Stoga u ovakvim slučajevima tumačenje dobivenih vrijednosti indeksa neugode postaje vrlo problematično. U stvarnosti se očekuje da će se vrijednosti objektivnih parametara dobivene za pojedine primjerke uređaja ovih triju tipova nalaziti unutar već definiranih raspona, odnosno da neće značajno odstupati od vrijednosti dobivenih za zvukove uređaja koji su izvorno bili uključeni u istraživanje, imajući u vidu sličnosti u pogledu njihove veličine, građe, snage i namjene. Stoga se očekuje da će definirani modeli davati korektne vrijednosti modeliranih subjektivnih parametara.

Na slici 5.7 prikazani su raspršni grafikoni stvarnih subjektivnih ocjena neugode koju izaziva zvuk pojedinih uređaja dobivenih pri provedbi inicijalnih subjektivnih ispitivanja u odnosu na ocjene, odnosno indeks neugode dobiven modelima.



Slika 5.7. Usporedba ocjena neugode, tj. vrijednosti indeksa neugode dobivenih modelima i subjektivnih ocjena dobivenih inicijalnim subjektivnim ispitivanjima za zvuk uređaja u praznom hodu (lijevo) i pri zaustavljanju (desno)

Iz prikazanih se grafikona može na prvi pogled ocijeniti reprezentativnost dobivenih modela, pri čemu bi se u slučaju potpuno reprezentativnog modela sve točke nalazile točno na identiteti označenoj crvenom bojom, što znači da bi se u tom slučaju ocjene, odnosno

indeksi neugode dobiveni modelima u potpunosti slagali sa subjektivnim ocjenama dobivenim pri provedbi ispitivanja.

Na slici 5.7 jasno se vide razlike u načinu ocjenjivanja neugode izazvane zvukom koji uređaji proizvode u praznom hodu i pri zaustavljanju. Prije svega, intervali pouzdanosti označeni užim parom crtkanih linija oko identitete, kao i intervali predviđanja označeni širim parom crtkanih linija znatno su uži za model neugode zvuka uređaja u praznom hodu nego za onaj pri zaustavljanju, što upućuje na to da je model izrađen za prazan hod uređaja reprezentativniji. Tu činjenicu potvrđuju i vrijednosti koeficijenta determinacije R^2 te prilagođenog koeficijenta determinacije \bar{R}^2 , koje za model ocjene neugode u praznom hodu iznose 0,92, odnosno 0,90, dok su za model ocjene neugode pri zaustavljanju dobivene vrijednosti od 0,77, odnosno 0,72. Dobiveni rezultati mogu se objasniti različitim karakterom zvuka koji uređaji proizvode u praznom hodu, odnosno pri zaustavljanju, što se odražava i na subjektivne ocjene koje daju ispitanici. Zvuk uređaja u praznom hodu stacionarnog je karaktera, što znači da su vrijednosti odgovarajućih objektivnih parametara, pa tako i razine zvučnog tlaka kao najvažnijega od njih, konstantne. To znači da je količina zvučne energije koju ispitanici primaju u jedinici vremena stalna pa ispitanicima ne predstavlja problem ocijeniti njome izazvanu neugodu. I oštrina i kolebanje imaju stalne vrijednosti, što dodatno olakšava ocjenjivanje neugode prouzročene određenim zvukom. Trajanje zvuka također ima važnu ulogu, jer uređaj može raditi u praznom hodu proizvoljno dugo, što ispitanicima daje dovoljno vremena za formiranje mišljenja i davanje odgovarajuće ocjene. S druge strane, pri zaustavljanju se karakter zvuka kontinuirano mijenja, pri čemu se i vrijednosti svih objektivnih parametara mijenjaju od vrijednosti koje oni poprimaju pri radu u praznom hodu do nule. S obzirom na činjenicu da se vrijeme zaustavljanja uređaja uključenih u istraživanje kreće u prosjeku oko 5 sekundi ili čak manje, ovisno o tipu uređaja, tako kratko vrijeme nije dovoljno za formiranje relevantne ocjene neugode. Količina zvučne energije u jedinici vremena vrlo brzo pada tijekom zaustavljanja, čime je izgubljen glavni parametar koji utječe na ocjenu neugode. Stoga se pri ocjenjivanju neugode zvuka uređaja pri zaustavljanju nameće potreba za promatranjem drugih aspekata zvuka.

5.2.2. Predloženi modeli ocjene kvalitete uređaja

Za razliku od neugode, subjektivne ocjene kvalitete nekog uređaja nisu povezane s glasnoćom zvuka koji on emitira pri radu. Navedena se činjenica jasno vidi iz dobivenih koeficijentata korelacije između objektivne glasnoće i subjektivnih ocjena kvalitete uređaja pri radu u praznom hodu, dok pri zaustavljanju glasnoća zvuka igra minornu ulogu iz istih razloga kao i kod ocjene neugode izazvane zvukom. Radi provjere navedenih tvrdnji, pri izradi modela ocjene kvalitete uređaja kao mogući ulazni parametri uvrštene su glasnoća i razina zvučnog tlaka, ali je utvrđeno da one ni na koji način ne pridonose poboljšanju reprezentativnosti modela, čime su potvrđeni rezultati korelacijske analize.

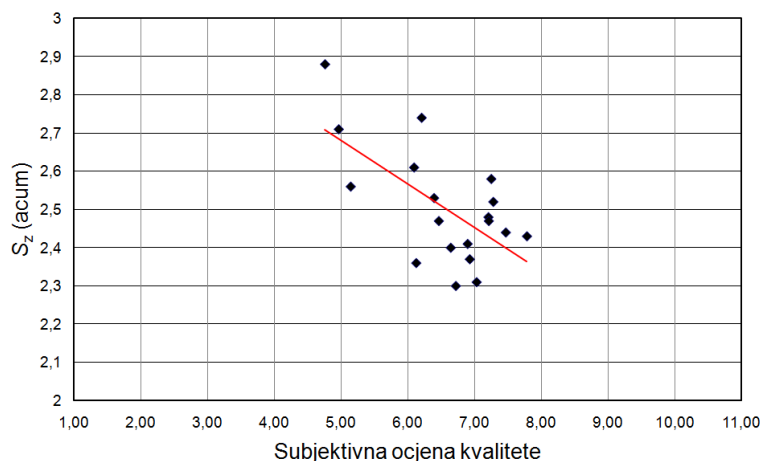
Konačni oblik modela za ocjenu kvalitete uređaja na temelju zvuka koji on emitira pri radu u praznom hodu, odnosno pri zaustavljanju prikazan je odgovarajućim indeksima kvalitete QI_{ph} i QI_{zs} definiranim izrazima:

$$QI_{ph} = 17,16 - 3,09 \cdot S_z [\text{acum}] - 7,46 \cdot F [\text{vacil}] - 3,58 \cdot m_{a150} \quad (5.3)$$

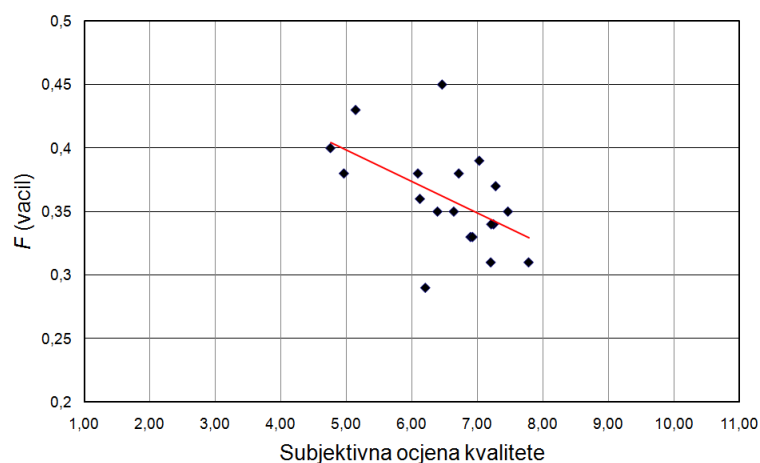
$$QI_{zs} = 9,99 - 0,20 \cdot (\Delta N_{\text{rel}_Z_{500}})_{25} [\%] - 0,26 \cdot S_{a0} [\text{acum}] - 5,43 \cdot R_0 [\text{asper}] \quad (5.4)$$

Pri tome je S_z oštrina dobivena Zwickerovim modelom, F jačina kolebanja, m_{a150} procijenjeni indeks modulacije ako se uzmu u obzir samo modulacijske frekvencije niže od 150 Hz, $(\Delta N_{\text{rel}_Z_{500}})_{25}$ postotni iznos kolebanja glasnoće premašen u 25 % vremena dobiven Zwickerovim modelom glasnoće uz primijenjenu duljinu usrednjavanja od 500 ms, S_{a0} vrijednost oštrine dobivene Auresovim modelom na početku intervala zaustavljanja te R_0 vrijednost grubosti na početku intervala zaustavljanja.

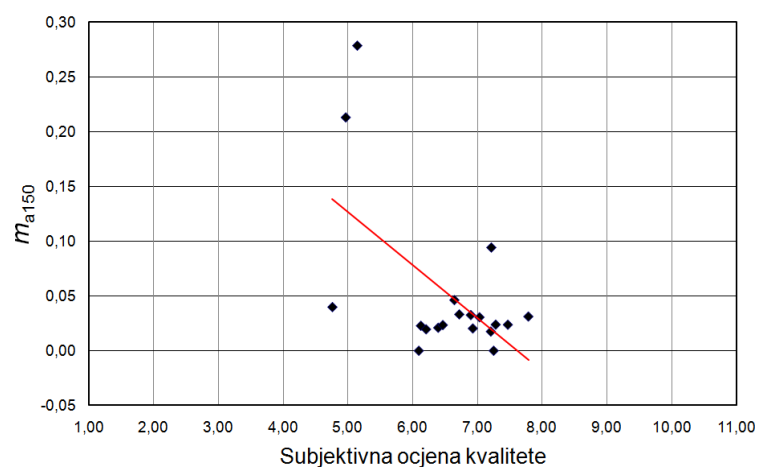
Na slikama 5.8 do 5.13 prikazani su raspršni grafikoni svake od navedenih varijabli u odnosu na odgovarajuće ocjene kvalitete uređaja. Ocjene kvalitete sadržane su u užem rasponu nego što je to slučaj s ocjenama neugode, iz čega se zaključuje da je ispitanicima bilo mnogo teže ocijeniti kvalitetu uređaja nego neugodu izazvanu njegovim zvukom. S druge strane, pozitivna je činjenica da su ispitanici uspjeli zanemariti očite razlike u glasnoći zvuka pojedinih uređaja te dati ocjene kvalitete neovisno o tom svojstvu zvuka. Vidljivo je i vrlo izraženo grupiranje subjektivnih ocjena, pri čemu se izdvajaju samo ocjene onih uređaja čiji se zvuk u određenim aspektima, opisanima odgovarajućim objektivnim parametrima, znatno razlikuje od zvukova preostalih uređaja.



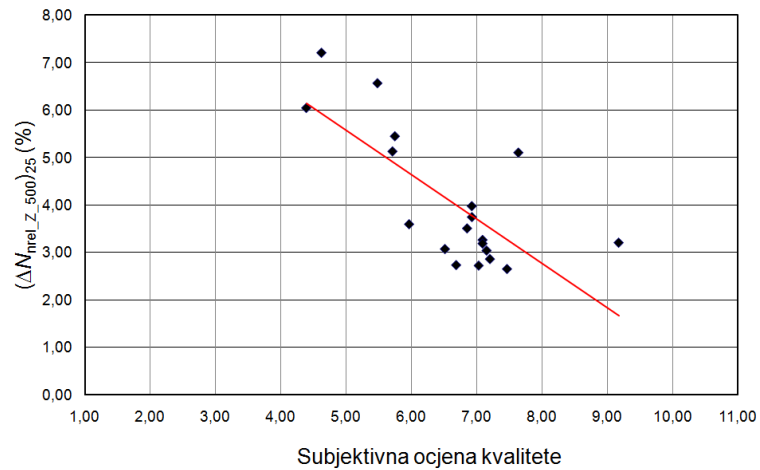
Slika 5.8. Raspršni grafikon subjektivnih ocjena kvalitete za zvuk uređaja u praznom hodu u odnosu na oštrinu dobivenu Zwickerovim modelom



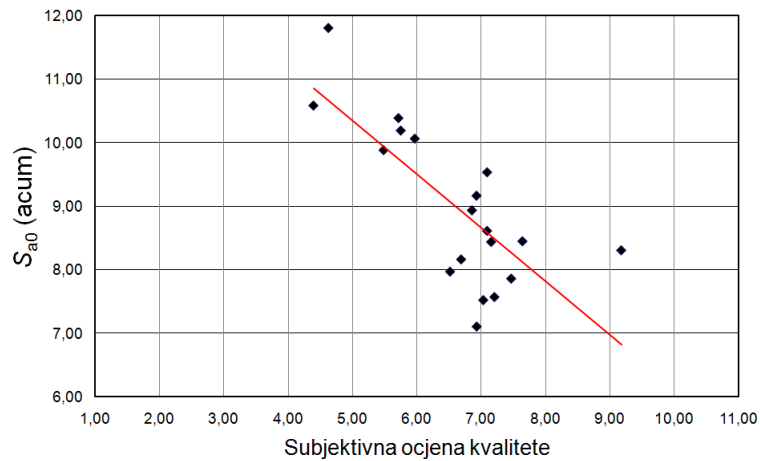
Slika 5.9. Raspršni grafikon subjektivnih ocjena kvalitete za zvuk uređaja u praznom hodu u odnosu na jačinu kolebanja



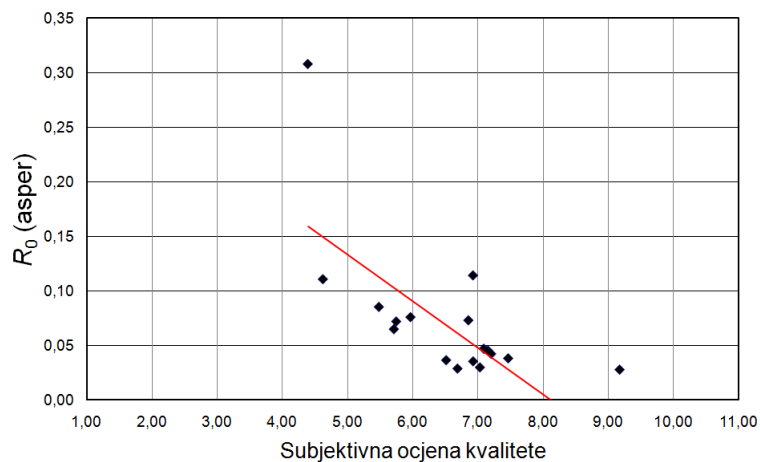
Slika 5.10. Raspršni grafikon subjektivnih ocjena kvalitete za zvuk uređaja u praznom hodu u odnosu na procijenjeni indeks modulacije m_{a150}



Slika 5.11. Raspršni grafikon subjektivnih ocjena kvalitete za zvuk uređaja pri zaustavljanju u odnosu na postotni percentil kolebanja glasnoće $(\Delta N_{nrel_Z_500})_{25}$



Slika 5.12. Raspršni grafikon subjektivnih ocjena kvalitete za zvuk uređaja pri zaustavljanju u odnosu na početnu vrijednost oštine dobivene po Auresu

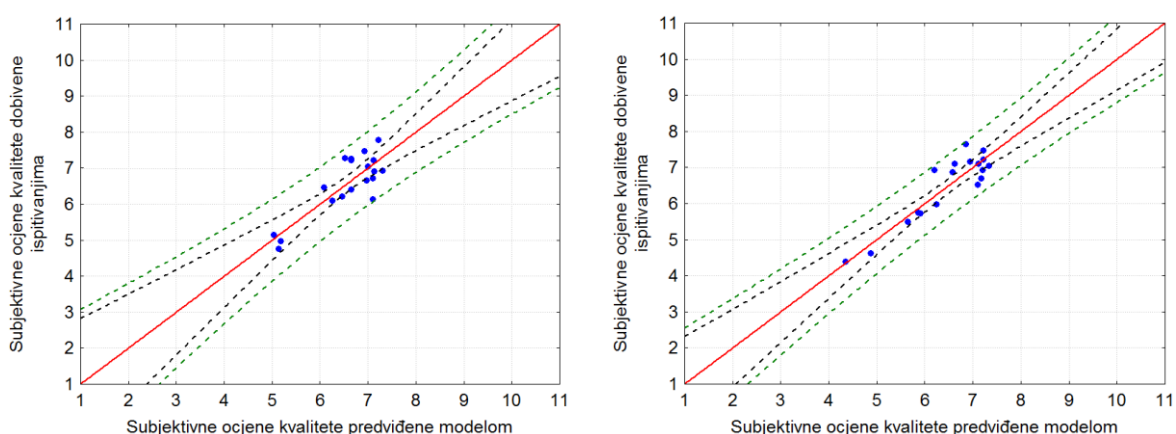


Slika 5.13. Raspršni grafikon subjektivnih ocjena kvalitete za zvuk uređaja pri zaustavljanju u odnosu na početnu vrijednost grubosti

Usporedbom koeficijenta korelacije između subjektivnih ocjena kvalitete i objektivnih parametara izabranih za izradu modela i koeficijenta korelacije dobivenih na isti način za neugodu utvrđeno je da su njihove vrijednosti, iako u oba slučaja statistički značajne uz izabranu razinu značajnosti 0,05, ipak bitno manje kada se radi o parametrima vezanim uz kvalitetu uređaja.

Iz svega navedenog zaključuje se da reprezentativnost modela kvalitete neće dostići onu reprezentativnost dobivenu pri izradi modela neugode bez dodatnih koraka koji uključuju izbacivanje tzv. netipičnih opažanja, odnosno subjektivnih ocjena koje nisu konzistentne s preostalim subjektivnim ocjenama dobivenim prilikom subjektivnih ispitivanja. Izneseni zaključak potvrđuju koeficijenti determinacije, odnosno prilagođeni koeficijenti determinacije dobiveni za modele kvalitete uređaja koji za rad u praznom hodu iznose 0,71, odnosno 0,65. Za zaustavljanje oni poprimaju vrijednosti 0,83, odnosno 0,80, ali tek nakon izbacivanja jednog netipičnog opažanja, dok su najveće dostignute vrijednosti dobivene za modele s uključenim svim opažanjima iznosile tek 0,64, odnosno 0,60.

Na slici 5.14 prikazani su raspršni grafikonu subjektivnih ocjena kvalitete uređaja dobivenih inicijalnim subjektivnim ispitivanjima u odnosu na indekse kvalitete, odnosno subjektivne ocjene čije su vrijednosti predviđene konačnim oblicima izrađenih modela.



Slika 5.14. Usporedba ocjena kvalitete, tj. vrijednosti indeksa kvalitete dobivenih modelima i subjektivnih ocjena dobivenih inicijalnim subjektivnim ispitivanjima za zvuk uređaja u praznom hodu (lijevo) i pri zaustavljanju (desno)

Na grafikonima prikazanim na slici 5.14 jasno je vidljivo grupiranje ocjena uzrokovano ponajviše sličnostima u karakteru zvuka uređaja koji su podvrgnuti ocjenjivanju. Prepoznatljivost modelima daju upravo ocjene onih uređaja čiji se zvuk nekim svojim

svojstvom značajno razlikuje od zvukova ostalih uređaja u grupi. Vidljivo je i da se intervali pouzdanosti i intervali predviđanja značajno šire s porastom udaljenosti od područja u kojem su sadržane stvarne subjektivne ocjene upravo zbog toga što je raspon tih ocjena uzak. Ova je pojava više izražena za model ocjene kvalitete u praznom hodu čija je reprezentativnost lošija, kako je utvrđeno i potvrđeno dobivenim vrijednostima koeficijenata determinacije i prilagođenih koeficijenata determinacije. Iz navedene se činjenice zaključuje da će primjena modela uz dovoljnu pouzdanost biti ograničena samo na predviđanje indeksa kvalitete u rasponu u kojem se nalaze izvorne subjektivne ocjene. Indekse kvalitete koji se svojom vrijednošću nalaze daleko izvan toga raspona valja promatrati samo informativno i uzimati ih uz određenu dozu opreza.

5.2.3. Predloženi modeli ocjene sigurnosti uređaja

Modeli ocjene sigurnosti uređaja prikazani su pomoću indeksa sigurnosti SI_{ph} definiranog za rad uređaja u praznom hodu te indeksa sigurnosti SI_{zs} definiranog za zaustavljanje uređaja, prema izrazima:

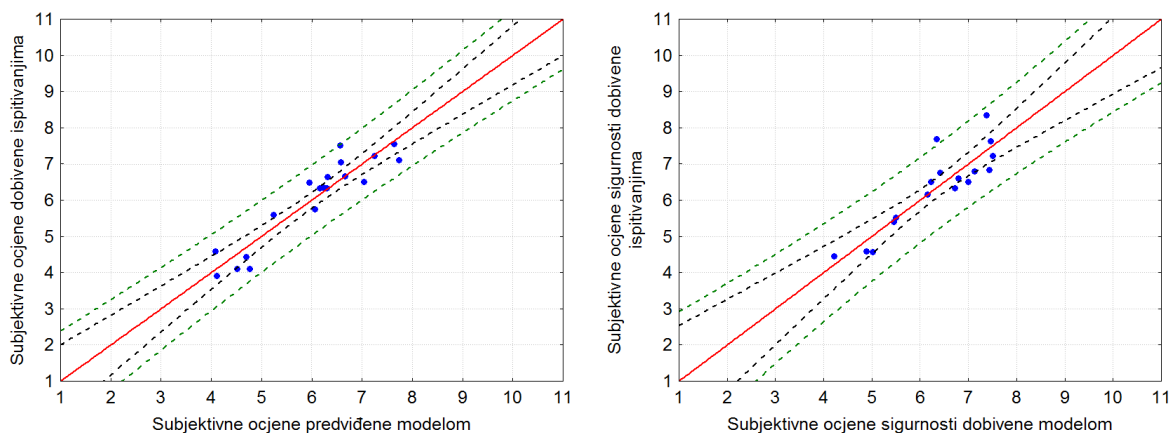
$$SI_{ph} = 29,86 - 0,16 \cdot SPL[\text{dBZ}] - 3,72 \cdot S_z[\text{acum}] - 4,64 \cdot m_a \quad (5.5)$$

$$SI_{zs} = 11,79 - 0,66 \cdot (\Delta N_{\text{rel}_Z_{500}})_{50}[\%] - 0,44 \cdot S_{a0}[\text{acum}] \quad (5.6)$$

Pri tome je SPL linearna razina zvučnog tlaka, S_z oštrina dobivena Zwickerovim modelom, m_a procijenjeni indeks amplitudne modulacije, $(\Delta N_{\text{rel}_Z_{500}})_{50}$ postotni medijan kolebanja glasnoće dobiven Zwickerovim modelom glasnoće uz primijenjenu duljinu usrednjavanja od 500 ms te S_{a0} vrijednost oštrine dobivene Auresovim modelom na početku intervala zaustavljanja.

Kao i u slučaju neugode, ocjena sigurnosti uređaja pri radu u praznom hodu usko je povezana s glasnoćom i oštrinom zvuka te pojavom kolebanja glasnoće, odnosno promjena u vremenskoj strukturi zvuka, dok pri zaustavljanju, kada parametar glasnoće gubi svoj smisao, doživljaj sigurnosti počiva na početnoj oštrini zvuka te ponovno pojavi kolebanja glasnoće. Porast vrijednosti bilo kojeg od navedenih parametara negativno utječe na dojam sigurnosti, što je vidljivo iz izraza 5.5 i 5.6 kojima su modeli definirani.

Na slici 5.15 prikazani su raspršni grafikoni subjektivnih ocjena sigurnosti uređaja dobivenih inicijalnim subjektivnim ispitivanjima u odnosu na indekse sigurnosti, odnosno subjektivne ocjene čije su vrijednosti predviđene konačnim oblicima izrađenih modela.



Slika 5.15. Usporedba ocjena sigurnosti, tj. vrijednosti indeksa sigurnosti dobivenih modelima i subjektivnih ocjena dobivenih inicijalnim subjektivnim ispitivanjima za zvuk uređaja u praznom hodu (lijevo) i pri zaustavljanju (desno)

Usporedbom raspršnih grafikona na slici 5.15 dobivenim za ocjene sigurnosti s raspršnim grafikonima na slici 5.7 dobivenim za ocjene neugode vide se razlike u upotrijebljenim rasponima ocjena zvuka pri radu u praznom hodu i pri zaustavljanju za oba navedena parametra. Konkretno, za zvukove uređaja u praznom hodu taj je raspon u slučaju ocjena neugode pomaknut prema višim ocjenama, a u slučaju ocjena sigurnosti prema nižim ocjenama u odnosu na raspone dobivene pri zaustavljanju. Drugim riječima, zvuk uređaja u praznom hodu općenito je ocijenjen neugodnijim, a uređaj opasnijim nego pri zaustavljanju. Zaključuje se da u oba slučaja upravo glasnoća zvuka igra važnu ulogu pri ocjeni ovih parametara temeljenoj na zvuku uređaja u praznom hodu, dok je pri zaustavljanju uloga glasnoće minorna.

Na temelju širine intervala pouzdanosti i intervala predviđanja pokazanih na raspršnim grafikonima na slici 5.15 može se zaključiti da je model sigurnosti dobiven za rad uređaja u praznom hodu reprezentativniji od onog dobivenog za zaustavljanje. Takav zaključak podupiru i koeficijenti determinacije te prilagođeni koeficijenti determinacije koji za model dobiven za prazan hod iznose 0,87, odnosno 0,84, dok za model dobiven za zaustavljanje poprimaju vrijednosti 0,79, odnosno 0,76.

5.2.4. Predloženi modeli ocjene ispravnosti uređaja

Modeli ocjene ispravnosti uređaja kao konačne parametre daju indeks ispravnosti DI_{ph} za rad uređaja u praznom hodu te DI_{zs} za rad uređaja pri zaustavljanju. Konačan oblik modela prikazan je izrazima:

$$DI_{ph} = 18,82 - 3,13 \cdot S_z [\text{acum}] - 8,44 \cdot F [\text{vacil}] - 4,06 \cdot m_{a150} \quad (5.7)$$

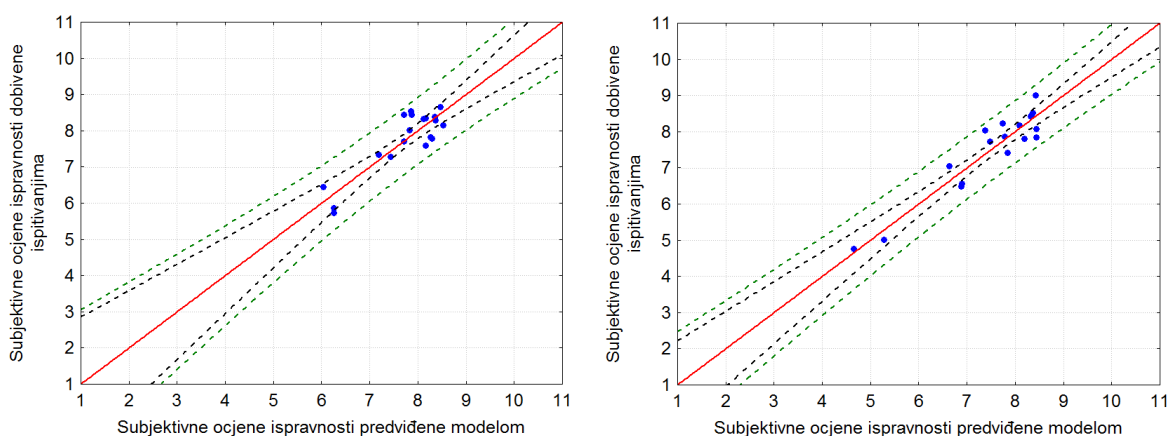
$$DI_{zs} = 9,99 - 0,50 \cdot (\Delta N_{\text{rel_MG_500}})_{25} [\%] - 6,12 \cdot R_0 [\text{asper}] \quad (5.8)$$

Pri tome je S_z oštrina dobivena Zwickerovim modelom, F jačina kolebanja, m_{a150} procijenjeni indeks modulacije ako se uzmu u obzir samo modulacijske frekvencije niže od 150 Hz, $(\Delta N_{\text{rel_MG_500}})_{25}$ postotni iznos kolebanja glasnoće premašen u 25 % vremena dobiven Mooreovim i Glasbergovim modelom glasnoće uz primijenjenu duljinu usrednjavanja od 500 ms te R_0 vrijednost grubosti na početku intervala zaustavljanja.

Usporedbom oblika modela ispravnosti i modela kvalitete vidljive su sličnosti, odnosno zajedničke karakteristike koje dijele oba modela, pri čemu se prvenstveno misli na gotovo identičan skup objektivnih parametara pomoću kojih su formirana oba modela. Dodatno, analizom raspona ocjena subjektivnih parametara dobivenih pri provedbi subjektivnih ispitivanja utvrđeno je da oni poprimaju gotovo identične vrijednosti upravo za parametre kvalitete i ispravnosti uređaja, kako za rad uređaja u praznom hodu, tako i pri zaustavljanju. Iz navedenih saznanja te analize izvornih subjektivnih ispitivanja zaključuje se da je subjektivni dojam kvalitete uređaja usko povezan sa subjektivnim dojmom ispravnosti istih.

Na slici 5.16 prikazani su raspršni grafikoni subjektivnih ocjena ispravnosti uređaja dobivenih inicijalnim subjektivnim ispitivanjima u odnosu na indekse ispravnosti, odnosno subjektivne ocjene čije su vrijednosti predviđene izrađenim modelima. Iz usporedbe prikazanih raspršnih grafikona zaključuje se da je model ocjene ispravnosti dobiven za zaustavljanje reprezentativniji upravo zbog većeg raspona izvornih subjektivnih ocjena dobivenih pri provedbi subjektivnih ispitivanja. Promjena širine intervala pouzdanosti i intervala predviđanja preko cijelog raspona mogućih vrijednosti ocjena upućuje na to da će model dobiven za zaustavljanje biti moguće upotrijebiti za točnije predviđanje indeksa ispravnosti od modela dobivenog za prazan hod, pogotovo ako se radi o ekstrapolaciji, tj.

predviđanju indeksa ispravnosti čija se vrijednost nalazi izvan raspona izvornih subjektivnih ocjena ispravnosti uređaja upotrijebljenih pri izradi modela.



Slika 5.16. Usporedba ocjena ispravnosti, tj. vrijednosti indeksa ispravnosti dobivenih modelima i subjektivnih ocjena dobivenih inicijalnim subjektivnim ispitivanjima za zvuk uređaja u praznom hodu (lijevo) i pri zaustavljanju (desno)

Opisanu razliku u reprezentativnosti dobivenih indeksa ispravnosti potvrđuju i koeficijenti determinacije, odnosno prilagođeni koeficijenti determinacije, koji za model ispravnosti za prazan hod poprimaju vrijednosti 0,78, odnosno 0,73, a za zaustavljanje oni iznose 0,89, odnosno 0,88.

5.2.5. Predloženi modeli ocjene vrijednosti uređaja

Modeli ocjene vrijednosti uređaja kao konačne parametre daju indeks vrijednosti uređaja VI_{ph} dobiven za rad uređaja u praznom hodu te VI_{zs} dobiven za rad uređaja pri zaustavljanju, koji su prikazani slijedećim izrazima:

$$VI_{ph} = 12,06 - 2,27 \cdot S_z [\text{acum}] - 5,75 \cdot m_{a150} \quad (5.9)$$

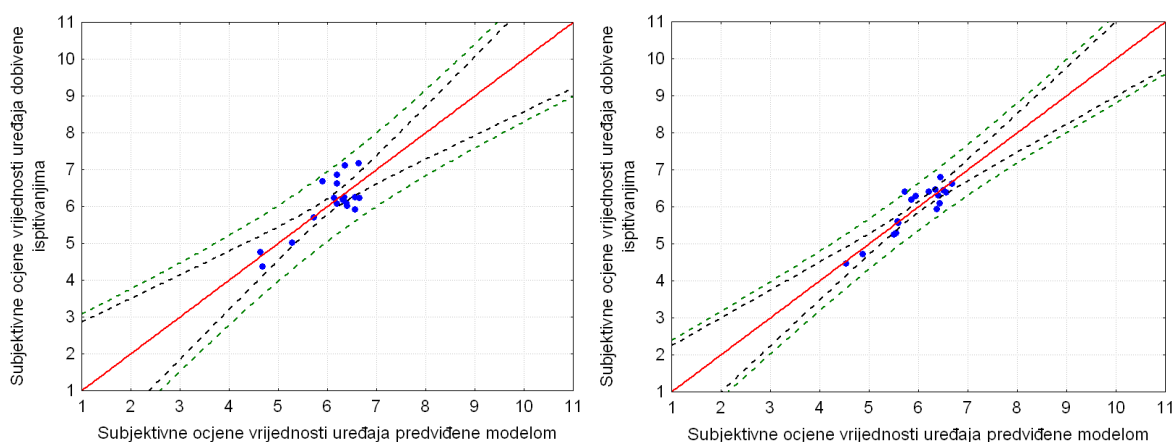
$$VI_{zs} = 9,13 - 0,32 \cdot S_{a0} [\text{acum}] - 3,75 \cdot R_0 [\text{asper}] \quad (5.10)$$

Pri tome je S_z oštrina dobivena Zwickerovim modelom, m_{a150} procijenjeni indeks modulacije ako se uzmu u obzir samo modulacijske frekvencije niže od 150 Hz, S_{a0} vrijednost oštrine dobivene Auresovim modelom na početku intervala zaustavljanja te R_0 vrijednost grubosti na početku intervala zaustavljanja.

Kao i kod kvalitete i ispravnosti, i kod ocjene vrijednosti uređaja glasnoća zvuka kojeg on proizvodi pri radu nema nikakvo značenje, već značajnu ulogu igra oštrina zvuka i vremenske promjene u njegovoj amplitudnoj strukturi. Analizom raspona subjektivnih ocjena dobivenih izvornim subjektivnim ispitivanjima utvrđeno je da su ti rasponi najmanji upravo za ovaj parametar, ukoliko se ne uzimaju u obzir parametri robusnosti i snage, za koje nije bilo moguće izraditi reprezentativne modele. Reprezentativnost modela i sada je utvrđena koeficijentima determinacije i prilagođenim koeficijentima determinacije. Za model ocjene vrijednosti uređaja u praznom hodu dobivene vrijednosti spomenutih koeficijenata iznose svega 0,66, odnosno 0,62, dakle, znatno su niže od onih dobivenih za ostale izrađene modele. Ipak, izrađeni model vrijednosti uređaja za prazan hod najbolji je mogući, uzevši u obzir raspoložive podatke, tj. vrijednosti subjektivnih ocjena i definiranih objektivnih parametara. Za model vrijednosti uređaja dobivene na temelju ocjene i analize zvuka uređaja pri zaustavljanju inicijalno su utvrđene tek nešto više vrijednosti koeficijenata determinacije od gore navedenih. Detaljnijom analizom utvrđeno je postojanje jednog netipičnog opažanja. Usporedbom vrijednosti dostupnih objektivnih parametara nije utvrđena jasna razlika među njima koja bi ukazivala na opravdanost postojanja takve netipične ocjene dobivene za konkretni uređaj, tim više što je i njegov zvuk slušno vrlo sličan zvuku većine ostalih uređaja. Zbog toga je spomenuta subjektivna ocjena zajedno s vrijednostima objektivnih parametara uklonjena iz skupa podataka na kojima se temelji model, nakon čega je model poprimio svoj konačan oblik pokazan izrazom 5.10. Reprezentativnost dobivenog modela potkrijepljena je vrijednostima koeficijenta determinacije u iznosu od 0,82 te prilagođenog koeficijenta determinacije u iznosu od 0,79.

Na slici 5.17 prikazani su raspršni grafikoni subjektivnih ocjena vrijednosti uređaja dobivenih inicijalnim subjektivnim ispitivanjima u odnosu na indekse vrijednosti, odnosno subjektivne ocjene čije su vrijednosti predviđene izrađenim modelima. U skladu s relativno lošom reprezentativnošću modela vrijednosti uređaja dobivenog za prazan hod, odgovarajući raspršni grafikon na slici 5.17 zorno pokazuje da je prediktivna vrijednost tog modela donekle zadovoljavajuća isključivo unutar raspona izvornih subjektivnih ocjena, dok je izvan toga raspona uporabljivost modela u najmanju ruku upitna. S druge strane, uporaba modela vrijednosti uređaja dobivenog za zaustavljanje može se proširiti i izvan raspona izvornih subjektivnih ocjena. Dobiveni interval predviđanja znatno je uži od onog dobivenog kod modela vrijednosti uređaja za prazan hod, i to na cijelom definiranom rasponu vrijednosti subjektivnih ocjena, kao izravna posljedica veće reprezentativnosti

modela. Time se parametar vrijednosti uređaja svrstava u istu grupu u kojoj su i parametri kvalitete i ispravnosti uređaja.



Slika 5.17. Usporedba ocjena vrijednosti uređaja, tj. odgovarajućih indeksa dobivenih modelima i subjektivnih ocjena dobivenih inicijalnim subjektivnim ispitivanjima za zvuk uređaja u praznom hodu (lijevo) i pri zaustavljanju (desno)

5.2.6. Predloženi modeli ocjene želje za kupnjom uređaja

Modeli ocjene subjektivne želje za kupnjom uređaja daju indeks želje za kupnjom uređaja BI_{ph} dobiven za rad uređaja u praznom hodu te BI_{zs} dobiven za rad uređaja pri zaustavljanju, prikazane slijedećim izrazima:

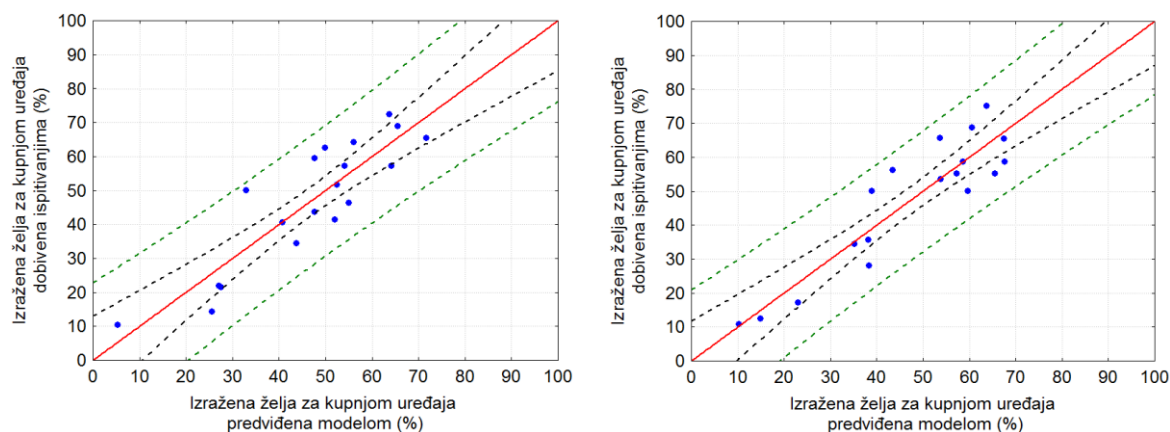
$$BI_{ph}[\%] = 398,34 - 2,48 \cdot SPL[\text{dBZ}] - 41,02 \cdot S_z[\text{acum}] - 11,28 \cdot N_{10_50}[\%] \quad (5.11)$$

$$BI_{zs}[\%] = 145,86 - 8,58 \cdot S_{a0}[\text{acum}] - 83,50 \cdot R_0[\text{asper}] - 42,69 \cdot F_0[\text{vacil}] \quad (5.12)$$

Pritom je SPL linearna razina zvučnog tlaka, S_z oštrina dobivena Zwickerovim modelom, N_{10_50} relativni omjer percentila glasnoće normiran na vrijednost medijana kao mjera kolebanja glasnoće, a S_{a0} , R_0 i F_0 vrijednosti oštrine dobivene Auresovim modelom te grubosti i jačine kolebanja na početku intervala zaustavljanja.

Indeks želje za kupnjom svojom se definicijom razlikuje od ostalih modeliranih parametara, baš kao i izvorne subjektivne ocjene istog parametra. Naime, pri subjektivnim ispitivanjima želja za kupnjom ocjenjivana je bipolarno, tj. ispitanici su na postavljeno pitanje odgovarali s 'da' ili 'ne', dok su ostale parametre ocjenjivali na stupnjevanoj ljestvici. Stoga su ocjene tih parametara dobivene kao srednje vrijednosti ocjena svih

ispitanika, dok je konačna ocjena želje za kupnjom dobivena sumarno, odnosno izražena kao postotna vrijednost broja ispitanika koji bi se odlučili na kupnju nekog uređaja u odnosu na ukupni broj ispitanika koji su ocijenili svojstva toga uređaja i njegovog zvuka. Na slici 5.18 prikazani su raspršni grafikoni subjektivnih ocjena želje za kupnjom dobivenih inicijalnim subjektivnim ispitivanjima u odnosu na indekse želje za kupnjom, odnosno subjektivne ocjene čije su vrijednosti predviđene odgovarajućim modelima.



Slika 5.18. Usporedba želje za kupnjom, tj. vrijednosti indeksa kupnje dobivenih modelima i subjektivno izražene želje za kupnjom uređaja pri provedbi inicijalnih subjektivnih ispitivanja za zvuk uređaja u praznom hodu (lijevo) i pri zaustavljanju (desno)

Iz slike se jasno vidi da je raspon sumarnih ocjena želje za kupnjom u odnosu na ukupni definirani raspon tih ocjena veći nego kod ijednog drugog modeliranog parametra. U skladu s tim, interval predviđanja zadržava gotovo konstantnu širinu na cijelom definiranom rasponu ocjena, što znači da je i pouzdanost predviđanja modela zadržana konstantnom na tom rasponu. Može se primijetiti da je spomenuti interval širi za model dobiven za prazan hod, pa se zaključuje da je reprezentativnost toga modela slabija od reprezentativnosti modela dobivenog za zaustavljanje. Izneseni zaključak potvrđuju vrijednosti koeficijenta determinacije, odnosno prilagođenog koeficijenta determinacije, koje za model izrađen za prazan hod iznose 0,79, odnosno 0,75, dok za model načinjen za zaustavljanje spomenuti koeficijenti poprimaju vrijednosti 0,84, odnosno 0,80.

Oblik dobivenih modela želje za kupnjom uređaja prikazan izrazima 5.11 i 5.12 ukazuje na način razmišljanja ispitanika pri iskazivanju želje za kupnjom nekog uređaja. Konkretno, želja za kupnjom iskazana na temelju zvuka koji uređaj proizvodi pri radu u praznom hodu ovisi i o glasnoći, odnosno razini zvučnog tlaka tog zvuka, dok pri zaustavljanju, kada glasnoća prestaje biti relevantan parametar, na želju za kupnjom najviše utjecaja ima

oštrina zvuka i pojava kolebanja glasnoće. Stoga se zaključuje da na želju za kupnjom nekog uređaja jednako snažan utjecaj imaju i primarni subjektivni parametri neugode izazvane zvukom te dojma sigurnosti koji zvuk uređaja ostavlja, ali i sekundarni parametri dojma kvalitete, ispravnosti i vrijednosti uređaja. Analiza podataka dobivenih inicijalnim subjektivnim ispitivanjima, odnosno dobiveni koeficijenti korelacije odgovarajućih subjektivnih parametara podupiru izneseni zaključak. Dakle, želja za kupnjom nekog uređaja, izražena isključivo na temelju zvuka toga uređaja koji on proizvodi pri radu, bit će iskazana ponajprije odnosom između instinktivnog doživljaja neugode i moguće opasnosti koju uređaj predstavlja te svjesne ocjene ostalih svojstava uređaja, prvenstveno njegove kvalitete.

Zaključak

U ovoj disertaciji obrađen je problem akustičke karakterizacije uređaja na temelju ocjene parametara zvučne slike, tj. zvuka koji oni proizvode u različitim radnim fazama svog radnog ciklusa. Primijenjen je novi pristup, kojim su uređaji ocijenjeni sa stajališta krajnjeg korisnika. Pri tome je istraživanje usmjereno na utvrđivanje poželjnih i nepoželjnih karakteristika zvuka, odnosno zvučne slike uređaja.

U uvodnom je dijelu predstavljen pojam kvalitete zvuka u kontekstu utvrđivanja ili stvaranja dojma kvalitete uređaja na temelju zvuka koji oni proizvode pri radu. Kvaliteta zvuka u ovom smislu znači da zvuk prvenstveno mora biti prihvatljiv za korisnika, u skladu s njegovim prijašnjim iskustvima te očekivanjima i željama. Nadalje, zvuk proizvoda upotpunjava njegov ukupni identitet i svojim karakterom daje informaciju o tipu konkretnog uređaja, ali i izdvaja pojedine modele uređaja od ostalih uređaja istog tipa. Konačno, zvuk može i mora nositi informaciju koju korisnik uređaja koristi ne samo za utvrđivanje radne faze u kojoj se uređaj u određenom trenutku nalazi, već i za pravovremeno uočavanje problema koji se nedvojbeno pojavljuju u nekom trenutku radnog vijeka uređaja.

Istraživanje je provedeno na tri tipa uređaja iz kategorije ručnog električnog alata, konkretno, vibracijskih bušilica te ručnih kružnih i ubodnih pila. Izbor uređaja odgovara činjenici da je spomenuta kategorija uređaja široko zastupljena u populaciji, ali joj se unatoč tome do sada nije posvećivalo dovoljno pozornosti.

S obzirom na to da su za provedbu istraživanja izabrani uređaji iz kategorije ručnog električnog alata, definirane su tri faze u radnom ciklusu uređaja, i to rad u praznom hodu, zatim rad pod opterećenjem i, konačno, zaustavljanje. Naglasak je pritom stavljen na rad uređaja u praznom hodu i pri zaustavljanju. Rad uređaja pod opterećenjem uzet je u obzir pri provedbi inicijalnih subjektivnih ispitivanja, ali se pokazuje da je dominantna komponenta zvuka dobivena kontaktom radnog dijela uređaja i materijala koji se obrađuje, dok je zvuk koji pritom proizvodi sâm uređaj u velikoj mjeri maskiran. Stoga zvuk dobiven pri radu pod opterećenjem nije pogodan za dobivanje ocjene kvalitete uređaja.

S obzirom na to da je krajnji cilj analize kvalitete zvuka utvrđivanje karakteristika zvuka koje pozitivno, odnosno negativno utječu na doživljaj kvalitete uređaja, nužno je definirati skup objektivnih parametara kojima će te karakteristike biti prikladno opisane. Osim postojećih osnovnih parametara definirani su novi objektivni parametri kojima su opisane

karakteristike zvuka važne za razumijevanje načina na koji korisnik doživljava svojstva uređaja.

U prvome dijelu istraživanja detaljno je proučena metodologija subjektivnih ispitivanja na temelju čega je u konačnici izabran oblik testova koji će biti upotrijebljeni pri provedbi subjektivnih ispitivanja. Subjektivni su parametri strogo podijeljeni u tri grupe, pri čemu su definirane grupe opisnih parametara zvuka, parametara doživljaja zvuka te parametara doživljaja svojstava samih uređaja, a na kraju testa zahtijevan je odgovor na pitanje želi li ispitanik kupiti uređaj čiji je zvuk upravo čuo. Za ocjenu subjektivnih parametara korištene su metode semantičkog diferencijala i stupnjevanog ocjenjivanja na 11-stupanjskoj ljestvici te bipolarna metoda ocjene želje za kupnjom uređaja. Definiran je postupak uzimanja uzoraka zvuka uređaja te njihove pripreme za reprodukciju ispitanicima pri provedbi subjektivnih ispitivanja. Definirane su karakteristike prostora u kojem je obavljeno snimanje zvuka te koraci koje je potrebno poduzeti kako bi se pri reprodukciji sačuvala visoka vjernost dobivenih uzoraka. U drugom je dijelu subjektivnih ispitivanja izrađena aplikacija kojom je moguće sintetizirati, odnosno simulirati zvuk uređaja pri radu u praznom hodu, odnosno zaustavljanju. Pri provedbi samog ispitivanja ispitanicima je omogućena velika sloboda, pri čemu su moguće vrijednosti pojedinih parametara simulacije ograničene samo rasponima dobivenim analizom uzoraka zvuka stvarnih uređaja. Unatoč željama ispitanika, pri provedbi ovog dijela ispitivanja nije reproduciran zvuk stvarnog uređaja jer bi takav zvuk bio shvaćen kao referenca kojoj se valja približiti. Pri definiraju kvalitete zvuka nekog uređaja sa stajališta proizvođača uobičajen izbor slušača, odnosno ispitanika su tzv. stručni slušači. Budući da je u ovim istraživanjima problem promatran sa stajališta prosječnih krajnjih korisnika koji uređaje ne koriste svakodnevno, izbor slušača načinjen je u skladu s populacijom koju je potrebno predstaviti. Pri tome su slušači podijeljeni na iskusne i neiskusne prema iskustvu koje posjeduju vezano uz uporabu određenog tipa uređaja. Spomenuta podjela načinjena je radi utvrđivanja razlika u načinu razmišljanja i doživljavanja zvuka uređaja između iskusnih i neiskusnih ispitanika.

Analizom rezultata subjektivnih ispitivanja ponajprije su utvrđene vrijednosti Pearsonovog koeficijenta korelacije između subjektivnih parametara, kako onih iz iste grupe, tako i onih iz različitih grupa s ciljem utvrđivanja načina na koji su ispitanici ocijenili pojedine parametre doživljaja zvuka, pogotovo neugodu, te parametre doživljaja svojstava uređaja. Također je utvrđeno da određeni parametri, kako iz grupe opisnih parametara zvuka, tako i iz grupe parametara doživljaja zvuka nisu relevantni za formiranje konačnog suda o

svojstvima određenog uređaja. Sposobnost ispitanika da utvrde postojanje razlika između pojedinih uređaja u određenim aspektima doživljaja zvuka ili svojstava samih uređaja analizirana je ANOVA testovima, koji su popraćeni dodatnim Tukeyevim testovima radi utvrđivanja konkretnih uređaja čiji se zvuk, odnosno pojedini njegovi aspekti međusobno značajno razlikuju. Rezultati provedenih statističkih testova i analiza raspona srednjih vrijednosti ocjena dobivenih subjektivnim vrednovanjem parametara doživljaja zvuka i svojstava uređaja upućuju na opravdanost uključivanja zvuka uređaja pri zaustavljanju u postupak akustičke karakterizacije.

Procijenjen je utjecaj načina na koji su ispitanici doživjeli zvuk uređaja na njihov doživljaj svojstava tih uređaja te je zaključeno da nedvojbeno postoji čvrsta veza između doživljaja zvuka i doživljaja svojstava uređaja. Ne može se tvrditi da se radi o izravnoj uzročno-posljedičnoj vezi, već se nameće zaključak da karakter zvuka opisan opisnim parametrima zvuka ima presudan utjecaj i na doživljaj zvuka i na doživljaj svojstava uređaja koji proizvodi taj zvuk.

Analizom i usporedbom zvukova stvarnih uređaja s onima sintetiziranim u drugoj fazi subjektivnih ispitivanja utvrđena je nedvosmislena želja ispitanika za smanjenjem glasnoće zvuka uređaja. S druge strane, određene karakteristike zvuka, primjerice, tonalnost i kolebanje glasnoće prenaplašene su, gotovo karikirane u sintetiziranim uzorcima zvuka u odnosu na uzorke zvuka stvarnih uređaja.

U posljednjem je koraku istraživanja provedena analiza korelacije objektivnih i subjektivnih parametara. Pritom je utvrđeno da pojedine subjektivne parametre nije moguće dovesti u vezu, a time ni opisati nijednim definiranim objektivnim parametrom, čime ti subjektivni parametri gube na relevantnosti. Usporedbom dobivenih rezultata s rezultatima analize korelacije među subjektivnim parametrima utvrđeno je da se radi o istim subjektivnim parametrima za koje je spomenutom analizom utvrđeno da nisu relevantni za formiranje konačnog suda o svojstvima nekog uređaja. Takav nalaz dodatno govori u prilog uklanjanju tih parametara iz strukture testa korištenog za subjektivna ispitivanja. Na temelju analize korelacije objektivnih i subjektivnih parametara izdvojeni su oni objektivni parametri koji su u statistički značajnoj korelaciji s određenim subjektivnim parametrom kao potencijalni kandidati za izradu modela toga subjektivnog parametra. Rezultati pokazuju da je za izradu reprezentativnih modela pojedinih subjektivnih parametara dovoljno uzeti tri objektivna parametra.

Kao krajnji cilj istraživanja definirani su modeli koji kao rezultat daju indekse ocjene subjektivnih parametara: neugode izazvane zvukom uređaja i dojmova kvalitete,

sigurnosti, vrijednosti i ispravnosti uređaja koje ostavlja zvuk toga uređaja te iskazane želje za kupnjom uređaja. Modeli su definirani za rad uređaja u praznom hodu te pri zaustavljanju. Pritom je utvrđeno da se za rad uređaja u praznom hodu modeli parametara mogu svrstati u dvije grupe. U prvoj su grupi modeli u kojima značajnu ulogu ima glasnoća, odnosno razina zvučnog tlaka zvuka kao indikator količine zvučne energije koju u jedinici vremena proizvodi uređaj. Radi se o modelima neugode izazvane zvukom te dojma sigurnosti koji ostavlja uređaj pa su zbog toga neugoda i sigurnost proglašeni primarnim parametrima. U modelima preostalih parametara glasnoća i njoj ekvivalentni parametri nemaju važnosti pa su stoga ti parametri proglašeni sekundarnima. Time se ne umanjuje njihova važnost, već se želi pokazati sposobnost ispitanika da zanemare utjecaj glasnoće i ocijene svojstva uređaja vodeći se drugim kriterijima. Konačno, želja za kupnjom nekog uređaja izražena isključivo na temelju zvuka toga uređaja koji on proizvodi pri radu iskazana je odnosom između instinktivnog doživljaja neugode i moguće opasnosti koju uređaj predstavlja te svjesne ocjene ostalih svojstava uređaja, prvenstveno njegove kvalitete. Pri radu uređaja u zaustavljanju utjecaj glasnoće zvuka je zanemariv budući da ona kontinuirano opada pa se modeli dobiveni za ovu radnu fazu zasnivaju ponajprije na objektivnim parametrima kojima je opisana oštrina zvuka te kolebanje.

Reprezentativnost modela dobivenog za određeni subjektivni parametar ovisi ponajprije o rasponu unutar kojeg su sadržane srednje vrijednosti ocjena tog parametra dobivene za pojedine uređaje. Širina tog raspona odražava sposobnost ispitanika da razlikuju određeno svojstvo uređaja koje ocjenjuju, a ovisit će prvenstveno o izboru uzoraka zvuka uređaja i sličnostima među njima. S obzirom da stvarni uređaji iskazuju velike sličnosti u veličini, snazi i građi, i zvukovi koje oni proizvode pri radu sadržavaju velike međusobne sličnosti. Stoga je u budućem radu planirano proširenje baze uzoraka zvuka uređaja novim uzorcima koji će se međusobno razlikovati u što je više moguće aspekata zvuka, čime će biti otvoren put za eventualna poboljšanja i nadogradnje dobivenih modela. Osim toga, postoji mogućnost provedbe ispitivanja korištenjem sintetiziranih zvukova, pri čemu veliku prednost predstavlja mogućnost kontrole vrijednosti objektivnih parametara kojima je opisan određeni aspekt karaktera zvuka. Time će biti moguće preciznije utvrditi utjecaj pojedinih aspekata karaktera zvuka uređaja na doživljaj kvalitete i ostalih svojstava uređaja.

Dodatak A

- Tablica A1_1. Koeficijenti korelacije između subjektivnih parametara za ručne kružne pile – svi ispitanici
- Tablica A1_2. Koeficijenti korelacije između subjektivnih parametara za ručne kružne pile – iskusni ispitanici
- Tablica A1_3. Koeficijenti korelacije između subjektivnih parametara za ručne kružne pile – neiskusni ispitanici
- Tablica A2_1. Koeficijenti korelacije između subjektivnih parametara za vibracijske bušilice – svi ispitanici
- Tablica A2_2. Koeficijenti korelacije između subjektivnih parametara za vibracijske bušilice – iskusni ispitanici
- Tablica A2_3. Koeficijenti korelacije između subjektivnih parametara za vibracijske bušilice – neiskusni ispitanici
- Tablica A3_1. Koeficijenti korelacije između subjektivnih parametara za ubodne pile – svi ispitanici
- Tablica A3_2. Koeficijenti korelacije između subjektivnih parametara za ubodne pile – iskusni ispitanici
- Tablica A3_3. Koeficijenti korelacije između subjektivnih parametara za ubodne pile – neiskusni ispitanici
- Tablica A4. Sumarni rezultati ANOVA testova provedenih na rezultatima ispitivanja ručnih kružnih pila
- Tablica A5. Sumarni rezultati ANOVA testova provedenih na rezultatima ispitivanja vibracijskih bušilica
- Tablica A6. Sumarni rezultati ANOVA testova provedenih na rezultatima ispitivanja ubodnih pila
- Tablica A7. Vrijednosti parametara simulacije zvuka ručnih kružnih pila
- Tablica A8. Vrijednosti parametara simulacije zvuka vibracijskih bušilica
- Tablica A9. Vrijednosti parametara simulacije zvuka ubodnih pila
- Tablica A10. Usporedba objektivnih parametara stvarnih i simuliranih zvukova ručnih kružnih pila u praznom hodu
- Tablica A11. Usporedba objektivnih parametara stvarnih i simuliranih zvukova vibracijskih bušilica u praznom hodu
- Tablica A12. Usporedba objektivnih parametara stvarnih i simuliranih zvukova ubodnih pila u praznom hodu
- Tablica A13_1. Usporedba objektivnih parametara stvarnih i simuliranih zvukova ručnih kružnih pila pri zaustavljanju izvedenih iz glasnoće dobivene Zwickerovim modelom

- Tablica A13_2. Usporedba objektivnih parametara stvarnih i simuliranih zvukova ručnih kružnih pila pri zaustavljanju izvedenih iz glasnoće dobivene Mooreovim i Glasbergovim modelom
- Tablica A13_3. Usporedba ostalih objektivnih parametara stvarnih i simuliranih zvukova ručnih kružnih pila pri zaustavljanju
- Tablica A14_1. Usporedba objektivnih parametara stvarnih i simuliranih zvukova vibracijskih bušilica pri zaustavljanju izvedenih iz glasnoće dobivene Zwickerovim modelom
- Tablica A14_2. Usporedba objektivnih parametara stvarnih i simuliranih zvukova vibracijskih bušilica pri zaustavljanju izvedenih iz glasnoće dobivene Mooreovim i Glasbergovim modelom
- Tablica A14_3. Usporedba ostalih objektivnih parametara stvarnih i simuliranih zvukova vibracijskih bušilica pri zaustavljanju
- Tablica A15_1. Usporedba objektivnih parametara stvarnih i simuliranih zvukova ubodnih pila pri zaustavljanju izvedenih iz glasnoće dobivene Zwickerovim modelom
- Tablica A15_2. Usporedba objektivnih parametara stvarnih i simuliranih zvukova ubodnih pila pri zaustavljanju izvedenih iz glasnoće dobivene Mooreovim i Glasbergovim modelom
- Tablica A15_3. Usporedba ostalih objektivnih parametara stvarnih i simuliranih zvukova ubodnih pila pri zaustavljanju
- Tablica A16_1. Rezultati analize korelacije objektivnih i subjektivnih parametara za zvuk svih uređaja u praznom hodu
- Tablica A16_2. Rezultati analize korelacije objektivnih i subjektivnih parametara za zvuk svih uređaja u praznom hodu - sažetak
- Tablica A17_1. Rezultati analize korelacije objektivnih i subjektivnih parametara za zvuk svih uređaja pri zaustavljanju
- Tablica A17_2. Rezultati analize korelacije objektivnih i subjektivnih parametara za zvuk svih uređaja pri zaustavljanju - sažetak

Tablica A1_1: Koeficijenti korelacije između subjektivnih parametara za ručne kružne pile - svi ispitanici

glasan oštar	0,937	0,597	-0,357	-0,721	0,447	-0,340	0,394	0,293	-0,692	0,590	0,866	0,533	0,599	glasan oštar	0,659	-0,844	0,875	0,737	0,803	-0,661	0,168	0,800	0,861	opasan / siguran	-0,828	-0,720	0,217	-0,802	0,316	-0,357	-0,595
hrapav	0,500	-0,331	-0,637	0,439	0,383	0,256	-0,591	0,728	0,866	0,667	0,729			hrapav	0,321	-0,507	0,480	0,329	0,347	-0,227	-0,176	0,401	0,364	opasan / siguran	-0,815	-0,642	0,215	-0,666	0,308	-0,330	-0,657
stabilan	-0,453	-0,740	0,628	0,516	-0,622	0,531	0,115	-0,613	0,109	0,643	0,158	-0,007		stabilan	-0,273	0,425	-0,375	-0,090	-0,448	0,162	0,691	-0,260	0,261	robustan / krhak	0,505	0,009	0,533	0,096	-0,661	0,740	0,609
čist	-0,627	0,767	-0,738	0,834	-0,207	-0,207	-0,207	0,834	-0,395	-0,797	-0,427	-0,333		čist	-0,652	0,799	-0,728	-0,372	-0,690	0,627	0,143	-0,676	-0,570	jeftin / skup	0,784	0,312	0,190	0,452	-0,577	0,657	0,711
drhtav	-0,473	0,448	-0,514	-0,508	0,391	0,666	0,601	0,364						drhtav	0,327	-0,432	0,444	0,295	-0,479	-0,095	-0,489	0,308	0,331	snažan / slab	-0,496	-0,128	-0,457	-0,205	0,608	0,692	-0,549
prigušen	-0,388	0,448	-0,312	0,689	-0,650	-0,847	-0,619	-0,670						prigušen	-0,852	0,916	-0,854	-0,699	-0,808	0,698	-0,154	-0,808	-0,856	kvalitetan / nekvalitetan	0,844	0,629	-0,178	0,733	-0,300	0,355	0,599
pucketav	0,196	-0,717	0,341	0,425	0,183	0,163								pucketav	-0,383	-0,566	0,483	-0,130	0,471	-0,437	-0,154	0,539	0,292	neispravan / ispravan	-0,589	0,128	-0,545	-0,009	0,757	-0,778	-0,841
šuštav	-0,264	0,113	0,010	-0,226	0,065									šuštav	0,411	-0,441	0,303	0,063	0,205	-0,660	0,705	0,481	0,304	robustan / krhak	-0,289	-0,140	0,312	-0,203	-0,085	0,141	-0,148
jasan	-0,349	-0,667	-0,298	-0,274	0,601	0,698	0,613							jasan	-0,587	0,721	-0,639	-0,262	-0,634	0,564	0,093	-0,608	-0,491	jeftin / skup	0,663	0,280	0,290	0,349	-0,636	0,674	0,685
zujav	0,601	0,698	0,875											zujav	0,748	-0,724	0,699	0,467	0,674	-0,591	0,256	0,723	0,749	snažan / slab	-0,727	-0,326	-0,020	-0,306	0,382	-0,400	-0,566
grub	0,698	0,613												grub	0,797	-0,755	0,895	0,731	0,817	-0,505	-0,055	0,742	0,804	neispravan / ispravan	-0,803	-0,715	0,147	-0,661	0,314	-0,386	-0,563
zavijajući	0,886													zavijajući	0,653	-0,576	0,625	0,520	0,611	-0,370	-0,171	0,513	0,647	želja za kupnjom	-0,617	-0,381	-0,046	-0,282	0,331	-0,307	-0,474
zviždeći														zviždeći	0,780	-0,668	0,709	0,567	0,719	-0,583	0,173	0,685	0,798	želja za kupnjom	-0,717	-0,432	0,074	-0,353	0,244	-0,222	-0,443
neugodan lijep zastrašujuć moćan uzbunjujuć privlačan monoton odbojan napet														neugodan	-0,892	0,948	0,647	0,914	-0,818	0,331	0,931	0,920	opasan / siguran	-0,308	-0,611	0,201	-0,604	0,290	-0,345	-0,580	
														lijep	-0,864	-0,851	0,890	-0,250	-0,907	-0,805			opasan / siguran	0,895	0,420	0,013	0,534	-0,457	0,505	0,746	
														zastrašujuć	0,680	0,940	-0,757	0,229	0,946	0,938			robustan / krhak	-0,934	-0,667	0,185	-0,649	0,283	-0,374	-0,602	
														moćan	0,583	-0,353	0,289	0,526	0,775				jeftin / skup	-0,557	-0,878	0,612	-0,828	-0,206	0,112	-0,003	
														uzbunjujuć	0,167	0,911	0,878	0,167	0,911	0,878			snažan / slab	-0,938	-0,565	0,083	-0,596	0,330	-0,456	-0,590	
														privlačan	-0,427	-0,882	-0,728						neispravan / ispravan	0,804	0,383	-0,064	0,420	-0,313	0,319	0,533	
														monoton	0,400	0,332							neispravan / ispravan	-0,149	-0,263	0,501	-0,239	-0,399	0,387	0,167	
														odbojan	0,884								neispravan / ispravan	-0,921	-0,512	0,128	-0,549	0,291	-0,382	-0,637	
														napet	0,884								neispravan / ispravan	-0,894	-0,716	0,312	-0,713	0,155	-0,236	-0,466	
opasan / siguran / robustan / krhak jeftin / skup snažan / slab kvalitetan / nekvalitetan neispravan / ispravan														opasan / siguran	0,514	0,010	0,598	-0,442	0,558				opasan / siguran								
														robustan / krhak	-0,716	0,888	0,320	-0,230					robustan / krhak								
														jeftin / skup	-0,603	-0,790	0,714						jeftin / skup								
														snažan / slab	0,184	-0,093							snažan / slab								
														kvalitetan / nekvalitetan	-0,929								kvalitetan / nekvalitetan								
														neispravan / ispravan	0,799								neispravan / ispravan								
														želja za kupnjom									želja za kupnjom								

Razina statističke značajnosti

0,01

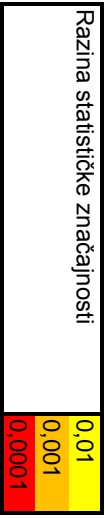
0,001

0,0001

Tablica A1_2: Koeficijenti korelacije između subjektivnih parametara za ručne kružne pile -iskusni ispitanici

glasan oštar	0,924	0,555	-0,391	-0,625	0,498	-0,920	0,277	0,185	-0,366	0,488	0,778	0,556	0,571
hrapav	0,443	-0,319	-0,524	0,511	-0,671	0,222	0,212	-0,152	0,590	0,784	0,662	0,710	0,024
stabilan	-0,639	-0,526	0,615	-0,623	0,569	-0,212	-0,512	0,097	0,572	0,261	-0,024	-0,285	0,285
čist	0,594	-0,672	0,491	-0,332	0,574	0,394	-0,383	-0,663	-0,651	-0,285	0,413	0,413	0,413
drhtav	-0,550	0,661	-0,634	-0,123	0,589	-0,123	0,589	-0,483	-0,717	-0,545	0,176	0,176	0,176
prigušen	0,576	0,222	-0,563	-0,294	0,489	-0,581	-0,779	0,754	0,716	0,688	-0,628	-0,628	-0,628
pucketav	-0,289	-0,140	0,344	-0,581	0,427	0,077	0,002	0,427	0,077	0,002	0,002	0,002	0,002
šuštav	0,230	-0,436	0,123	0,230	0,427	0,077	0,002	0,427	0,077	0,002	0,002	0,002	0,002
jasan	-0,082	0,101	-0,080	-0,232	0,155	0,035	-0,396	-0,052	0,080	0,546	0,702	0,845	0,845
zujav	0,035	0,546	0,702	0,845	0,597	0,793	0,597	0,793	0,597	0,793	0,597	0,597	0,597
grub	0,546	0,702	0,845	0,597	0,793	0,597	0,793	0,597	0,793	0,597	0,597	0,597	0,597
zavilajući	0,793	0,597	0,597	0,793	0,597	0,793	0,597	0,793	0,597	0,793	0,597	0,597	0,597
zviždeći	0,597	0,793	0,597	0,793	0,597	0,793	0,597	0,793	0,597	0,793	0,597	0,597	0,597
neugodan lijep zastrašujuć moćan uzbunjujuć privlačan monoton odbojan napet	oštar hrapav stabilan čist drhtav prigušen pucketav šuštav jasan zujav grub zavilajući zviždeći	neugodan lijep zastrašujuć moćan uzbunjujuć privlačan monoton odbojan napet	neugodan lijep zastrašujuć moćan uzbunjujuć privlačan monoton odbojan napet	neugodan lijep zastrašujuć moćan uzbunjujuć privlačan monoton odbojan napet	neugodan lijep zastrašujuć moćan uzbunjujuć privlačan monoton odbojan napet	neugodan lijep zastrašujuć moćan uzbunjujuć privlačan monoton odbojan napet	neugodan lijep zastrašujuć moćan uzbunjujuć privlačan monoton odbojan napet	neugodan lijep zastrašujuć moćan uzbunjujuć privlačan monoton odbojan napet	neugodan lijep zastrašujuć moćan uzbunjujuć privlačan monoton odbojan napet	neugodan lijep zastrašujuć moćan uzbunjujuć privlačan monoton odbojan napet	neugodan lijep zastrašujuć moćan uzbunjujuć privlačan monoton odbojan napet	neugodan lijep zastrašujuć moćan uzbunjujuć privlačan monoton odbojan napet	neugodan lijep zastrašujuć moćan uzbunjujuć privlačan monoton odbojan napet
opasan / siguran / robustan / krtak jeftin / skup snažan / slab kvalitetan / nekvalitetan neispravan / ispravan	opasan / siguran / robustan / krtak jeftin / skup snažan / slab kvalitetan / nekvalitetan neispravan / ispravan	opasan / siguran / robustan / krtak jeftin / skup snažan / slab kvalitetan / nekvalitetan neispravan / ispravan	opasan / siguran / robustan / krtak jeftin / skup snažan / slab kvalitetan / nekvalitetan neispravan / ispravan	opasan / siguran / robustan / krtak jeftin / skup snažan / slab kvalitetan / nekvalitetan neispravan / ispravan	opasan / siguran / robustan / krtak jeftin / skup snažan / slab kvalitetan / nekvalitetan neispravan / ispravan	opasan / siguran / robustan / krtak jeftin / skup snažan / slab kvalitetan / nekvalitetan neispravan / ispravan	opasan / siguran / robustan / krtak jeftin / skup snažan / slab kvalitetan / nekvalitetan neispravan / ispravan	opasan / siguran / robustan / krtak jeftin / skup snažan / slab kvalitetan / nekvalitetan neispravan / ispravan	opasan / siguran / robustan / krtak jeftin / skup snažan / slab kvalitetan / nekvalitetan neispravan / ispravan	opasan / siguran / robustan / krtak jeftin / skup snažan / slab kvalitetan / nekvalitetan neispravan / ispravan	opasan / siguran / robustan / krtak jeftin / skup snažan / slab kvalitetan / nekvalitetan neispravan / ispravan	opasan / siguran / robustan / krtak jeftin / skup snažan / slab kvalitetan / nekvalitetan neispravan / ispravan	opasan / siguran / robustan / krtak jeftin / skup snažan / slab kvalitetan / nekvalitetan neispravan / ispravan
	0,329	0,081	0,555	-0,378	0,538	0,627	0,627	0,627	0,627	0,627	0,627	0,627	0,627
	-0,645	0,728	0,493	-0,385	0,527	0,527	0,527	0,527	0,527	0,527	0,527	0,527	0,527
	-0,517	0,746	0,677	0,527	0,527	0,527	0,527	0,527	0,527	0,527	0,527	0,527	0,527
	0,573	-0,071	0,037	-0,846	-0,706	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770

Razina statističke značajnosti



Tablica A1_3: Koeficijenti korelacije između subjektivnih parametara za ručne kružne pile - neiskusni ispitanici

glaslan oštar	0,924	0,555	-0,391	-0,625	0,498	-0,920	0,277	0,185	-0,366	0,488	0,778	0,556	0,571	glaslan oštar	0,762	-0,759	0,694	0,698	0,700	-0,653	0,055	0,636	0,689	glaslan oštar	-0,796	-0,558	0,096	-0,746	0,119	-0,336	-0,551								
hrapav	0,443	-0,319	-0,524	0,511	-0,671	0,222	0,212	-0,152	0,590	0,784	0,662	0,710	hrapav	0,105	-0,361	0,218	0,253	0,201	-0,083	-0,449	0,198	0,078	hrapav	-0,416	-0,539	0,168	-0,663	0,095	-0,250	-0,556									
stabilan	-0,639	-0,526	0,615	-0,623	0,569	-0,212	-0,512	0,097	0,572	0,261	-0,024	stabilan	-0,203	0,297	-0,169	-0,150	-0,182	0,138	0,785	-0,177	-0,041	stabilan	0,455	0,027	0,381	-0,024	-0,562	0,677	0,717										
čist	0,594	-0,672	0,491	-0,332	0,574	0,394	-0,383	-0,483	-0,717	-0,545	-0,437	čist	-0,614	0,725	-0,631	-0,282	-0,542	0,582	0,179	-0,563	-0,407	čist	0,759	0,156	0,201	0,257	-0,589	0,599	0,672										
drhtav	-0,550	0,661	-0,634	-0,123	0,589	-0,123	0,589	-0,483	-0,717	-0,545	-0,437	drhtav	0,303	-0,295	0,278	0,370	0,241	-0,084	-0,559	0,288	0,218	drhtav	-0,522	-0,164	-0,316	-0,120	0,474	-0,589	-0,635										
prigušen	-0,289	0,222	-0,563	-0,284	0,489	0,754	0,716	0,413	prigušen	0,303	-0,295	0,278	0,370	0,241	-0,084	-0,559	0,288	0,218	prigušen	0,768	0,457	-0,066	0,655	-0,146	0,361	0,580	prigušen	-0,412	-0,009	-0,178	-0,087	0,294	-0,373	-0,489					
pucketav	-0,140	0,344	-0,581	-0,779	-0,688	-0,628	0,230	pucketav	0,234	-0,339	0,468	0,076	0,336	-0,225	-0,142	0,383	0,060	0,430	-0,442	0,508	0,220	0,347	-0,535	0,756	0,482	0,419	pucketav	-0,210	-0,060	0,285	-0,342	-0,181	0,225	0,032					
šuštav	-0,082	0,101	-0,080	-0,232	0,155	šuštav	0,430	-0,442	0,508	0,220	0,347	-0,535	0,756	0,482	0,419	šuštav	0,331	-0,120	0,224	0,160	-0,447	0,596	0,370	šuštav	-0,210	-0,060	0,285	-0,342	-0,181	0,225	0,032								
jasan	0,035	-0,396	-0,052	0,080	0,546	0,702	0,845	jasan	-0,250	0,359	-0,220	-0,084	-0,270	0,253	0,300	-0,166	0,041	jasan	0,331	-0,120	0,224	0,160	-0,447	0,596	0,370	jasan	0,331	-0,120	0,224	0,160	-0,447	0,596	0,370						
zujav	0,546	0,702	0,845	zujav	0,638	-0,619	0,581	0,465	0,454	-0,592	0,162	0,695	0,614	zujav	0,638	-0,619	0,581	0,465	0,454	-0,592	0,162	0,695	0,614	zujav	-0,698	-0,145	-0,104	-0,216	0,292	-0,289	-0,485								
grub	0,753	0,597	0,820	grub	0,652	-0,538	0,695	0,718	0,616	-0,422	-0,207	0,578	0,527	grub	0,581	-0,422	0,504	0,550	0,418	-0,328	-0,297	0,462	0,509	grub	-0,753	-0,552	0,131	-0,494	0,252	-0,376	-0,579								
zavijajući	0,820	zavijajući	0,581	-0,422	0,504	0,550	0,418	-0,328	-0,297	0,462	0,509	zavijajući	0,581	-0,422	0,504	0,550	0,418	-0,328	-0,297	0,462	0,509	zavijajući	-0,622	-0,394	0,055	-0,251	0,286	-0,287	-0,549										
zviždeći	0,774	-0,568	0,715	0,689	0,615	-0,615	0,175	0,713	0,780	zviždeći	0,774	-0,568	0,715	0,689	0,615	-0,615	0,175	0,713	0,780	zviždeći	0,774	-0,568	0,715	0,689	0,615	-0,615	0,175	0,713	0,780	zviždeći	-0,751	-0,349	0,089	-0,369	0,192	-0,433			
neugodan	lijep	zastrašujući	moćan	uzbunjujuć	privlačan	monoton	odbojan	napet	neugodan	lijep	zastrašujući	moćan	uzbunjujuć	privlačan	monoton	odbojan	napet	neugodan	lijep	zastrašujući	moćan	uzbunjujuć	privlačan	monoton	odbojan	napet	neugodan	lijep	zastrašujući	moćan	uzbunjujuć	privlačan	monoton	odbojan	napet				
opasan / siguran	opasan / siguran	robustan / krhak	jeftin / skup	snažan / slab	kvalitetan / nekvalitetan	neispravan / ispravan	želja za kupnjom	opasan / siguran	opasan / siguran	robustan / krhak	jeftin / skup	snažan / slab	kvalitetan / nekvalitetan	neispravan / ispravan	želja za kupnjom	opasan / siguran	opasan / siguran	robustan / krhak	jeftin / skup	snažan / slab	kvalitetan / nekvalitetan	neispravan / ispravan	želja za kupnjom	opasan / siguran	opasan / siguran	robustan / krhak	jeftin / skup	snažan / slab	kvalitetan / nekvalitetan	neispravan / ispravan	želja za kupnjom	opasan / siguran	opasan / siguran	robustan / krhak	jeftin / skup	snažan / slab	kvalitetan / nekvalitetan	neispravan / ispravan	želja za kupnjom
0,329	0,081	0,555	-0,378	0,538	0,627	0,627	0,627	0,329	0,081	0,555	-0,378	0,538	0,627	0,627	0,329	0,081	0,555	-0,378	0,538	0,627	0,627	0,627	0,329	0,081	0,555	-0,378	0,538	0,627	0,627	0,627	0,329	0,081	0,555	-0,378	0,538	0,627	0,627	0,627	
-0,645	0,728	0,493	-0,385	-0,132	-0,645	0,728	0,493	-0,385	-0,132	-0,645	0,728	0,493	-0,385	-0,132	-0,645	0,728	0,493	-0,385	-0,132	-0,645	0,728	0,493	-0,385	-0,132	-0,645	0,728	0,493	-0,385	-0,132	-0,645	0,728	0,493	-0,385	-0,132	-0,645	0,728	0,493	-0,385	-0,132
-0,517	-0,746	0,677	0,527	0,573	-0,071	0,037	0,037	-0,517	-0,746	0,677	0,527	0,573	-0,071	0,037	0,037	-0,517	-0,746	0,677	0,527	0,573	-0,071	0,037	0,037	-0,517	-0,746	0,677	0,527	0,573	-0,071	0,037	0,037	-0,517	-0,746	0,677	0,527	0,573	-0,071	0,037	0,037
-0,846	-0,706	-0,846	-0,706	-0,846	-0,706	-0,846	-0,706	-0,846	-0,706	-0,846	-0,706	-0,846	-0,706	-0,846	-0,706	-0,846	-0,706	-0,846	-0,706	-0,846	-0,706	-0,846	-0,706	-0,846	-0,706	-0,846	-0,706	-0,846	-0,706	-0,846	-0,706	-0,846	-0,706	-0,846	-0,706	-0,846	-0,706	-0,846	-0,706
0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770

Razina statističke značajnosti

0,01

0,001

0,0001

Tablica A2_1: Koeficijenti korelacije između subjektivnih parametara za vibracijske bušilice - svi ispitanici

	oštar	hrapav	stabilan	čist	drhtav	prigušen	pucketav	šuštav	jasan	zujav	grub	zavijajući	zviždeći		neugodan	lijep	zastrašujući	moćan	uzbunjujuć	privlačan	monoton	odbojan	napet		opasan / siguran	robustan / krhak	jeftin / skup	snažan / slab	kvalitetan / nekvalitetan	neispravan / ispravan	Želja za kupnjom
glaslan oštar	0,931	-0,282	-0,402	-0,205	0,074	-0,944	0,073	-0,062	-0,350	0,694	0,761	0,717	0,784	0,857	-0,905	0,645	0,012	0,849	-0,942	-0,125	0,642	0,319	-0,867	0,553	-0,704	-0,104	0,806	-0,688	-0,838		
hrapav	-0,274	-0,325	-0,220	0,067	-0,951	0,004	-0,007	-0,327	0,701	0,704	0,668	0,754	0,882	-0,852	0,649	-0,125	0,826	-0,919	0,044	0,815	0,795	-0,406	-0,332	-0,859	0,553	-0,778	0,812	-0,718	-0,819		
stabilan	0,544	-0,037	-0,142	0,347	-0,265	0,593	-0,192	-0,102	0,466	-0,287	-0,450	-0,251	-0,290	-0,433	0,189	-0,413	0,013	-0,393	0,248	-0,247	-0,506	-0,468	0,378	-0,238	0,447	0,004	-0,451	0,506	0,453		
čist	0,178	-0,733	0,388	-0,162	0,728	-0,025	-0,515	-0,453	-0,777	-0,624	-0,777	-0,624	0,158	-0,054	0,200	-0,102	0,265	0,010	-0,242	0,272	0,280	-0,406	-0,332	0,511	-0,259	0,613	-0,083	-0,654	0,715	0,543	
drhtav	-0,235	0,216	-0,192	0,466	-0,287	-0,450	-0,251	-0,290	-0,088	-0,466	-0,058	-0,027	0,158	-0,054	0,200	-0,102	0,265	0,010	-0,242	0,272	0,280	-0,406	-0,332	-0,140	0,212	-0,459	0,299	0,348	-0,382	-0,240	
prigušen	-0,073	0,010	-0,500	0,280	0,393	0,459	0,228	-0,012	0,088	0,226	-0,766	-0,742	-0,817	-0,874	0,901	-0,670	0,029	-0,850	0,908	0,032	-0,650	-0,823	0,904	-0,514	0,724	0,093	-0,800	0,750	0,878	0,820	
pucketav	0,076	0,147	0,185	0,121	0,148	0,198	0,157	-0,146	0,218	0,222	0,144	-0,144	-0,414	-0,146	0,218	0,222	0,144	-0,144	-0,414	-0,154	0,109	-0,041	-0,344	-0,029	-0,376	0,091	-0,088	-0,146	-0,146		
šuštav	-0,321	-0,297	-0,104	-0,542	-0,379	-0,088	-0,466	-0,058	-0,027	-0,088	-0,466	-0,058	-0,027	-0,239	0,106	-0,195	0,185	-0,231	0,287	-0,386	-0,304	-0,298	0,215	-0,202	0,367	-0,061	-0,358	0,451	0,332		
jasan	0,676	0,902	0,919	0,882	-0,808	0,642	0,025	0,877	-0,746	-0,359	0,576	0,825	0,818	-0,790	0,658	0,111	0,835	-0,777	-0,408	-0,359	0,576	0,825	-0,804	0,384	-0,665	-0,168	0,758	-0,694	-0,885		
zujav	0,677	0,728	0,945	-0,909	0,923	-0,002	0,935	-0,854	-0,270	0,942	0,674	0,852	0,852	0,852	0,808	0,642	0,025	0,877	-0,746	-0,359	0,576	0,825	-0,831	0,506	-0,778	0,058	0,874	-0,856	-0,874		
grub	0,947	0,945	-0,909	0,923	-0,002	0,935	-0,854	-0,270	0,942	0,674	0,852	0,852	0,852	0,852	0,808	0,642	0,025	0,877	-0,746	-0,359	0,576	0,825	-0,831	0,506	-0,778	0,058	0,874	-0,856	-0,874		
zavijajući	0,945	-0,909	0,923	-0,002	0,935	-0,854	-0,270	0,942	0,674	0,852	0,852	0,852	0,852	0,852	0,808	0,642	0,025	0,877	-0,746	-0,359	0,576	0,825	-0,831	0,506	-0,778	0,058	0,874	-0,856	-0,874		
zviždeći	0,945	-0,909	0,923	-0,002	0,935	-0,854	-0,270	0,942	0,674	0,852	0,852	0,852	0,852	0,852	0,808	0,642	0,025	0,877	-0,746	-0,359	0,576	0,825	-0,831	0,506	-0,778	0,058	0,874	-0,856	-0,874		
neugodan														neugodan	lijep	zastrašujući	moćan	uzbunjujuć	privlačan	monoton	odbojan	napet		opasan / siguran	robustan / krhak	jeftin / skup	snažan / slab	kvalitetan / nekvalitetan	neispravan / ispravan	Želja za kupnjom	
lijep														lijep	zastrašujući	moćan	uzbunjujuć	privlačan	monoton	odbojan	napet		opasan / siguran	robustan / krhak	jeftin / skup	snažan / slab	kvalitetan / nekvalitetan	neispravan / ispravan	Želja za kupnjom		
zastrašujući														zastrašujući	moćan	uzbunjujuć	privlačan	monoton	odbojan	napet		opasan / siguran	robustan / krhak	jeftin / skup	snažan / slab	kvalitetan / nekvalitetan	neispravan / ispravan	Želja za kupnjom			
moćan														moćan	uzbunjujuć	privlačan	monoton	odbojan	napet		opasan / siguran	robustan / krhak	jeftin / skup	snažan / slab	kvalitetan / nekvalitetan	neispravan / ispravan	Želja za kupnjom				
uzbunjujuć														uzbunjujuć	privlačan	monoton	odbojan	napet		opasan / siguran	robustan / krhak	jeftin / skup	snažan / slab	kvalitetan / nekvalitetan	neispravan / ispravan	Želja za kupnjom					
privlačan														privlačan	monoton	odbojan	napet		opasan / siguran	robustan / krhak	jeftin / skup	snažan / slab	kvalitetan / nekvalitetan	neispravan / ispravan	Želja za kupnjom						
monoton														monoton	odbojan	napet		opasan / siguran	robustan / krhak	jeftin / skup	snažan / slab	kvalitetan / nekvalitetan	neispravan / ispravan	Želja za kupnjom							
odbojan														odbojan	napet		opasan / siguran	robustan / krhak	jeftin / skup	snažan / slab	kvalitetan / nekvalitetan	neispravan / ispravan	Želja za kupnjom								
napet														napet		opasan / siguran	robustan / krhak	jeftin / skup	snažan / slab	kvalitetan / nekvalitetan	neispravan / ispravan	Želja za kupnjom									
opasan / siguran														opasan / siguran	robustan / krhak	jeftin / skup	snažan / slab	kvalitetan / nekvalitetan	neispravan / ispravan	Želja za kupnjom											
robustan / krhak														robustan / krhak	jeftin / skup	snažan / slab	kvalitetan / nekvalitetan	neispravan / ispravan	Želja za kupnjom												
jeftin / skup														jeftin / skup	snažan / slab	kvalitetan / nekvalitetan	neispravan / ispravan	Želja za kupnjom													
snažan / slab														snažan / slab	kvalitetan / nekvalitetan	neispravan / ispravan	Želja za kupnjom														
kvalitetan / nekvalitetan														kvalitetan / nekvalitetan	neispravan / ispravan	Želja za kupnjom															
neispravan / ispravan														neispravan / ispravan	Želja za kupnjom																
Želja za kupnjom														Želja za kupnjom																	

Razina statističke značajnosti

0,01

0,001

0,0001

Tablica A2_2: Koeficijenti korelacije između subjektivnih parametara za vibracijske bušilice - iskusni ispitanici

	oštar	hrapav	stabilan	čist	drhtav	prigušen	pucketav	šuštav	jasan	zujav	grub	zavijajući	zviždeći
glaslan	0,939	-0,179	-0,234	-0,168	0,135	-0,946	-0,016	-0,029	-0,141	0,701	0,652	0,707	0,800
oštar		-0,208	-0,191	-0,198	0,055	-0,929	0,063	0,054	-0,018	0,734	0,586	0,684	0,780
hrapav	0,403	0,403		-0,030	-0,031	0,248	0,030	0,477	-0,389	-0,311	-0,025	-0,557	-0,437
stabilan				0,330	-0,745	0,232	0,088	0,690	0,308	-0,336	-0,443	-0,585	-0,435
čist					-0,427	0,091	-0,197	0,095	0,401	-0,274	-0,438	-0,285	-0,233
drhtav						-0,047	-0,085	-0,607	-0,617	0,226	0,432	0,435	0,222
prigušen							0,080	0,041	0,032	-0,708	-0,611	-0,713	-0,803
pucketav								0,279	0,134	0,151	-0,063	-0,013	0,045
šuštav									0,187	-0,184	-0,173	-0,462	-0,256
jasan										-0,051	-0,391	-0,168	-0,028
zujav											0,629	0,871	0,895
grub												0,653	0,735
zavijajući													0,934
zviždeći													
neugodan													
lijep													
zastrašujući													
moćan													
uzbunjujuć													
privlačan													
monoton													
odbojan													
napet													
opasan / siguran													
robustan / krhak													
jeftin / skup													
snažan / slab													
kvalitetan / nekvalitetan													
neispravan / ispravan													
Želja za kupnjom													

Razina statističke značajnosti

0,01

0,001

0,0001

Tablica A2_3: Koeficijenti korelacije između subjektivnih parametara za vibracijske bušilice - neiskusni ispitanici

	oštar	hrapav	stabilan	čist	drhtav	prigušen	pucketav	šuštav	jasan	zujav	grub	zavijajući	zviždeći		neugodan	lijep	zastrašujući	moćan	uzbunjujuć	privlačan	monoton	odbojan	napet		opasan / siguran	robustan / krhak	jeftin / skup	snažan / slab	kvalitetan / nekvalitetan	neispravan / ispravan	Želja za kupnjom
glaslan	0,721	-0,227	-0,606	-0,180	-0,044	-0,884	0,273	-0,055	-0,296	0,636	0,746	0,673	0,699	0,851	-0,692	0,761	0,260	0,816	-0,786	-0,125	0,793	0,599	-0,873	0,107	-0,447	-0,291	0,691	-0,720	-0,764		
oštar		0,022	-0,445	0,077	0,134	-0,770	-0,288	-0,006	-0,220	0,480	0,708	0,334	0,395	0,565	-0,600	0,453	-0,182	0,556	-0,636	0,233	0,661	0,438	-0,692	0,024	-0,608	-0,243	0,451	-0,708	0,566		
hrapav			0,557	0,149	-0,282	0,265	-0,444	0,445	-0,205	-0,525	-0,136	-0,542	-0,390	-0,390	0,488	-0,424	-0,231	-0,458	0,281	0,313	-0,374	-0,362	0,223	-0,107	0,169	0,121	-0,206	0,318	0,374		
stabilan				0,186	-0,407	0,660	-0,272	0,589	-0,067	-0,683	-0,518	-0,895	-0,831	-0,373	0,169	-0,353	-0,140	-0,364	0,207	-0,308	-0,415	-0,522	0,398	-0,157	0,218	-0,034	-0,301	0,317	0,400		
čist					-0,074	0,295	-0,142	-0,171	0,589	-0,153	-0,311	-0,151	-0,288	0,131	0,059	0,026	-0,020	0,209	0,173	0,070	0,184	0,220	0,007	-0,053	0,129	0,013	0,069	-0,163	0,089		
drhtav						-0,093	0,041	-0,255	0,225	0,353	0,280	0,379	0,216	0,131	0,059	0,026	-0,020	0,209	0,173	0,070	0,184	0,220	0,007	-0,053	0,129	0,013	0,069	-0,163	0,089		
prigušen							-0,116	0,162	0,208	-0,770	-0,874	-0,655	-0,748	-0,875	0,833	-0,843	-0,108	-0,832	0,704	-0,023	-0,658	-0,706	0,928	0,020	0,503	0,433	-0,612	0,884	0,792		
pucketav								-0,220	0,215	0,243	0,134	0,440	0,393	0,318	-0,343	0,427	0,766	0,345	-0,056	-0,587	0,667	0,166	-0,142	-0,198	0,341	-0,393	0,134	-0,013	0,002		
šuštav									-0,596	-0,399	0,077	-0,504	-0,471	-0,298	0,143	-0,438	-0,060	-0,439	-0,101	0,269	-0,329	-0,279	0,137	-0,096	-0,090	0,153	-0,339	0,283	0,255		
jasan										0,079	-0,338	0,134	0,016	-0,233	0,181	-0,058	0,160	-0,126	0,518	-0,435	-0,178	-0,215	0,211	-0,237	0,437	-0,199	-0,351	0,180	0,270		
zujav											0,622	0,830	0,865	0,834	-0,760	0,708	0,024	0,797	-0,570	-0,066	0,836	0,678	-0,660	0,010	-0,343	-0,228	0,550	-0,781	-0,688		
grub												0,479	0,525	0,694	-0,675	0,660	0,281	0,691	-0,562	0,056	0,667	0,607	-0,749	-0,206	-0,292	-0,475	0,397	-0,681	-0,504		
zavijajući													0,920	0,847	-0,750	0,747	0,270	0,849	-0,443	-0,313	0,613	0,567	-0,647	0,141	-0,232	-0,199	0,692	-0,618	-0,608		
zviždeći														0,926	-0,836	0,866	0,215	0,892	-0,560	-0,249	0,593	0,593	-0,718	0,111	-0,306	-0,250	0,746	-0,704	-0,683		
neugodan															lijep	zastrašujući	moćan	uzbunjujuć	privlačan	monoton	odbojan	napet		opasan / siguran	robustan / krhak	jeftin / skup	snažan / slab	kvalitetan / nekvalitetan	neispravan / ispravan	Želja za kupnjom	
lijep																0,873	0,679	-0,694	-0,093	0,970	0,751	-0,844	0,126	-0,452	-0,281	0,833	-0,843	-0,786	0,802		
zastrašujući																	0,824	0,808	0,233	-0,624	-0,590	0,802	-0,137	0,460	0,281	-0,649	0,712	0,754	0,892		
moćan																	0,356	0,870	-0,567	0,230	0,685	0,635	-0,830	0,021	-0,291	-0,484	0,669	-0,712	0,892		
uzbunjujuć																		0,232	0,144	-0,747	-0,025	-0,195	-0,463	0,519	-0,514	-0,050	0,114	0,091			
privlačan																			0,609	-0,101	0,957	0,836	-0,835	0,164	-0,404	-0,266	0,805	-0,853	-0,805		
monoton																				0,197	-0,658	-0,513	0,637	-0,401	0,742	-0,056	-0,663	0,654	0,760		
odbojan																					0,016	0,258	-0,062	0,363	-0,575	0,346	0,013	-0,191	-0,162		
napet																						0,814	-0,848	0,214	-0,486	-0,189	0,823	-0,862	-0,822	0,862	
opasan / siguran																								-0,073	0,520	0,357	-0,599	0,796	0,823		
robustan / krhak																									-0,539	0,758	0,508	-0,146	-0,446		
jeftin / skup																										-0,202	-0,517	0,622	0,648		
snažan / slab																											0,126	0,249	-0,086		
kvalitetan / nekvalitetan																												0,126	0,249	-0,086	
neispravan / ispravan																												-0,672	-0,725		
Želja za kupnjom																												0,822	0,822		

Razina statističke značajnosti

0,01

0,001

0,0001

Tablica A3_1: Koeficijenti korelacije između subjektivnih parametara za ubodne pile - svi ispitanici

	oštar	hrapav	stabilan	čist	drhtav	prigušen	pucketav	šuštav	jasan	zujav	grub	zavijajući	zviždeći	
glaslan	0,883	0,631	-0,521	-0,638	0,482	-0,979	0,794	-0,187	-0,493	0,482	0,814	0,457	0,363	
oštar		0,627	-0,358	-0,615	0,346	-0,897	0,863	-0,027	-0,534	0,381	0,737	0,356	0,301	
hrapav			-0,612	-0,791	0,813	-0,574	0,798	-0,234	-0,591	-0,103	0,923	-0,217	-0,108	
stabilan				0,685	-0,722	0,465	-0,510	0,447	0,437	-0,097	-0,616	-0,205	-0,169	
čist					-0,735	0,580	-0,674	0,021	0,694	-0,205	-0,712	-0,059	-0,096	
drhtav						-0,379	0,608	-0,439	-0,413	-0,008	0,776	-0,184	-0,140	
prigušen							-0,785	0,200	0,431	-0,458	-0,762	-0,490	-0,392	
pucketav								-0,239	-0,509	0,150	0,848	0,070	0,094	
šuštav									-0,214	0,225	-0,361	-0,020	0,180	
jasan										0,024	0,780	0,817	-0,039	
zujav											-0,007	-0,051	-0,039	
grub												0,817	-0,039	
zavijajući													0,817	
zviždeći														0,817
neugodan														
lijep														
zastrašujuć														
moćan														
uzbunjujuć														
privlačan														
monoton														
odbojan														
napet														
opasan / siguran														
robustan / krhak														
jeftin / skup														
snažan / slab														
kvalitetan / nekvalitetan														
neispravan / ispravan														
Želja za kupnjom														



Tablica A3_2: Koeficijenti korelacije između subjektivnih parametara za ubodne pile -iskusni ispitanici

	oštar	hrapav	stabilan	čist	drhtav	prigušen	pucketav	šuštav	jasan	zujav	grub	zavijajući	zviždeći		neugodan	lijep	zastrašujući	moćan	uzbunjujuć	privlačan	monoton	odbojan	napet		opasan / siguran	robustan / krhak	jeftin / skup	snažan / slab	kvalitetan / nekvalitetan	neispravan / ispravan	Želja za kupnjom	
glaslan	0,853	0,560	-0,594	-0,628	0,418	-0,945	0,833	0,000	-0,518	0,514	0,837	0,638	0,467	0,868	-0,905	0,947	-0,511	0,853	-0,905	-0,060	0,811	0,807	0,888	-0,897	0,597	-0,646	-0,421	0,808	-0,681	-0,848		
oštar		0,636	-0,300	-0,542	0,211	-0,894	0,862	0,128	-0,413	0,376	0,749	0,498	0,505	0,851	-0,291	0,757	-0,461	0,769	-0,860	0,274	0,803	0,798	0,881	-0,664	0,559	-0,593	0,485	0,711	-0,579	-0,746		
hrapav			-0,342	-0,659	0,605	-0,512	0,770	0,057	-0,569	-0,002	0,844	0,017	0,010	0,604	0,580	0,504	-0,474	0,545	-0,664	0,202	0,629	0,386	0,604	-0,456	0,561	-0,680	0,487	0,609	-0,476	0,632		
stabilan				0,723	-0,589	0,481	-0,522	0,199	0,526	-0,368	-0,464	-0,575	-0,338	-0,539	0,674	-0,611	0,673	-0,582	0,581	0,531	0,504	-0,415	0,739	-0,721	0,751	-0,717	0,682	-0,694	0,776	0,093	-0,732	-0,430
čist					0,582	0,582	-0,692	-0,066	0,673	-0,308	-0,588	-0,392	-0,259	-0,408	-0,510	0,454	-0,478	0,330	-0,453	-0,202	0,440	0,239	0,408	-0,408	-0,510	0,454	-0,478	0,330	-0,453	-0,202	0,440	0,239
prigušen						-0,237	-0,490	-0,076	-0,566	0,256	0,588	0,022	0,047	-0,860	0,865	-0,660	0,554	-0,853	0,893	0,087	-0,804	-0,844	0,880	-0,877	0,757	-0,681	0,839	-0,902	0,017	0,883	0,714	
pucketav							-0,836	0,028	0,459	-0,491	-0,772	-0,716	-0,544	0,040	-0,004	0,025	-0,010	-0,105	-0,013	0,345	-0,072	-0,227	0,040	-0,004	0,025	-0,010	-0,105	-0,013	0,345	-0,072	-0,227	
šuštav								0,017	-0,549	0,339	0,851	0,419	0,372	0,446	0,526	-0,532	0,438	-0,341	0,551	0,012	-0,368	-0,153	0,446	-0,506	0,526	-0,481	0,375	-0,473	-0,136	0,436	0,516	
jasan									-0,217	-0,016	-0,097	-0,202	0,079	0,731	-0,771	0,754	-0,459	0,714	-0,789	0,048	0,735	0,620	0,731	-0,771	0,754	-0,459	0,714	-0,789	0,048	0,735	0,620	
zujav										0,173	-0,605	-0,175	0,016	0,638	-0,690	0,633	-0,567	0,686	-0,638	-0,366	0,570	0,754	0,638	-0,690	0,633	-0,567	0,686	-0,638	-0,366	0,570	0,754	
grub											0,312	0,157		0,468	-0,509	0,444	-0,528	0,395	-0,448	-0,173	0,432	0,621	0,468	-0,509	0,444	-0,528	0,395	-0,448	-0,173	0,432	0,621	
zavijajući												0,683																				
zviždeći													0,683																			
neugodan														neugodan	lijep	zastrašujući	moćan	uzbunjujuć	privlačan	monoton	odbojan	napet										
lijep															0,962	0,677	-0,663	0,953	-0,974	0,047	0,953	0,847	-0,914	0,715	-0,928	0,970	0,089	-0,536	-0,830			
zastrašujući																0,715	-0,661	0,889	-0,913	-0,031	0,831	0,782	-0,454	0,715	-0,661	0,889	-0,913	-0,031	0,831	0,782		
moćan																	0,953	-0,974	0,047	0,953	0,847	-0,914	0,715	-0,928	0,970	0,089	-0,536	-0,830				
uzbunjujuć																		0,889	-0,913	-0,031	0,831	0,782	-0,454	0,715	-0,661	0,889	-0,913	-0,031	0,831	0,782		
privlačan																			0,953	-0,974	0,047	0,953	0,847	-0,914	0,715	-0,928	0,970	0,089	-0,536	-0,830		
monoton																				0,047	0,953	0,847	-0,914	0,715	-0,928	0,970	0,089	-0,536	-0,830			
odbojan																					0,953	0,847	-0,914	0,715	-0,928	0,970	0,089	-0,536	-0,830			
napet																						0,847	-0,914	0,715	-0,928	0,970	0,089	-0,536	-0,830			
opasan / siguran																																
robustan / krhak																																
jeftin / skup																																
snažan / slab																																
kvalitetan / nekvalitetan																																
neispravan / ispravan																																
Želja za kupnjom																																

Razina statističke značajnosti

0,01

0,001

0,0001

Tablica A4: Sumarni rezultati ANOVA testova provedenih na rezultatima ispitivanja ručnih kružnih pila

	Ručne kružne pile																				
	svi						iskusni						neiskusni						p<10 ⁻⁴	p>10 ⁻⁴	ukupno
	prazan hod	opterećenje	zaustavljanje	prosjeak	prazan hod	opterećenje	zaustavljanje	prosjeak	prazan hod	opterećenje	zaustavljanje	prosjeak	prazan hod	opterećenje	zaustavljanje	prosjeak					
kvaliteta																					
sigurnost	1	1	1	1	1	1							-1	1	1	1	1	1	4	5	
robustnost	-1	-1	-1	-1	-1	-1								-1	-1	-1	-1	2	7	9	
cijena																		0	3	3	
snaga	-1	1	1	1	1	1								-1	-1	-1	1	5	5	10	
ispravnost																		3	3	6	
neugodan	1	1	1	1	1	1							1	-1	1	1	1	10	2	12	
ljep	1	-1	1	1	1	1							-1	-1	-1	-1	1	5	6	11	
zastrašujuć	1	1	1	1	1	1							-1	-1	1	1	1	6	4	10	
moćan	1		-1	1	1	1							-1		-1	1	1	3	5	8	
uzbunjajuć	1	1	1	1	1	1							-1	-1	1	1	1	6	5	11	
privlačan	1	1	-1	-1	-1	-1							-1	-1	-1			2	7	9	
monoton	-1	-1												-1	-1			0	7	7	
odbojan	1	1	1	1	1	1							1	1	1	1	1	8	3	11	
napet	1	-1	1	1	1	1							1	-1	1	1	1	7	4	11	
p<10 ⁻⁴	9	7	10	10	10	10							4	1	7	10	10	15	8	20	
p>10 ⁻⁴	3	5	4	4	4	4							7	10	5	5	2	18	20	17	
ukupno	12	12	14	14	14	14							11	11	12	12					
p<10 ⁻⁴ ukupno	36						9						22								
p>10 ⁻⁴ ukupno	16						28						24								
sveukupno	52						37						46								

Tablica A5: Sumarni rezultati ANOVA testova provedenih na rezultatima ispitivanja vibracijskih bušilica

	Vibracijske bušilice																				
	svi						iskusni						neiskusni						p<10 ⁻⁴	p>10 ⁻⁴	ukupno
	prazan hod	opterećenje	zaustavljanje	prosjeak	prazan hod	opterećenje	zaustavljanje	prosjeak	prazan hod	opterećenje	zaustavljanje	prosjeak	prazan hod	opterećenje	zaustavljanje	prosjeak					
kvaliteta	1	1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	6	4	10		
sigurnost	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	1	11		
robustnost																	0	0	0		
cijena	-1			-1	-1		-1										0	4	4		
snaga																	0	1	1		
ispravnost	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	6	4	10		
neugodan	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	0	12		
liljep	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	3	12		
zastrašujuć	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	1	11		
moćan																	0	0	0		
uzbunjiv	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	1	12		
privlačan	1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	9	3	12		
monoton																	0	0	0		
odbojan	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	0	12		
napet	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	1	11		
p<10 ⁻⁴	10	10	8	10	10	7	8	10	5	2	5	10	4	2	5	10	25	19	21		
p>10 ⁻⁴	1	0	2	1	1	3	0	1	4	7	3	0	4	7	3	0	6	10	5		
ukupno	11	10	10	11	11	10	8	11	9	9	8	10	9	9	8	10					
p<10 ⁻⁴ ukupno	38						35						22								
p>10 ⁻⁴ ukupno	4						5						14								
sveukupno	42						40						36								

Tablica A6: Sumarni rezultati ANOVA testova provedenih na rezultatima ispitivanja ubodnih pila

	Ubodne pile																				
	svi				iskusni						neiskusni										
	prazan hod	opterećenje	zaustavljanje	prosjeak	prazan hod	opterećenje	zaustavljanje	prosjeak	prazan hod	opterećenje	zaustavljanje	prosjeak	prazan hod	opterećenje	zaustavljanje	prosjeak	p<10-4	p>10-4	ukupno		
kvaliteta	1	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	8	4	12		
sigurnost	1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	9	3	12		
robustnost		-1	1	-1		-1	1	1		-1	1	1					3	3	6		
cijena	1	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1			-1	1	7	4	11		
snaga		-1	1	-1		-1	-1	-1		-1	-1	-1			-1	-1	1	7	8		
ispravnost	1	-1	1	1	-1	-1	1	1				1			1	1	7	3	10		
neugodan	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12	0	12		
liljep	1	1	1	1	1	-1	1	1	-1		-1	1	-1		-1	1	8	3	11		
zastrašujuć	1	1	1	1		-1	1	1	-1		1	1	-1		-1	1	7	3	10		
moćan			-1				-1	-1			-1	-1				0	3	3	3		
uzbunjluć	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	5	7	12		
privlaćan	1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1		1	1	-1		1	1	7	4	11		
monoton																0	0	0	0		
odbojan	1	1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	9	3	12		
napet	1	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	5	6	11		
p<10-4	11	7	13	11	6	1	11	12	2	1	11	12	2	1	11	9	19	9	28		
p>10-4	0	6	1	2	4	12	3	2	7	5	5	8	7	5	8	3	11	23	12		
ukupno	11	13	14	13	10	13	14	14	9	6	12	12	9	6	12	11	23	12			
p<10-4 ukupno	42				30						16										
p>10-4 ukupno	9				21						23										
sveukupno	51				51						39										

Tablica A7: Vrijednosti parametara simulacije zvuka ručnih kružnih pile

		Širokopojasni sum						Tonska sastavnica 1						Tonska sastavnica 2						Tonska sastavnica 3															
		uključen	prijelomna frekvencija f_n (Hz)	donji nagib d_n (dB/oktavi)	gornji nagib g_n (dB/oktavi)	indeks modulacije m_a		uključena	osnovna frekvencija (Hz)	oblik tonskog signala	broj komponenata	sastav tonskog signala	komponente tona slijede oblik šuma	razina tonskog signala (dB)	uključena	osnovna frekvencija (Hz)	oblik tonskog signala	broj komponenata	sastav tonskog signala	komponente tona slijede oblik šuma	indeks modulacije m_a	razina tonskog signala (dB)	uključena	osnovna frekvencija (Hz)	oblik tonskog signala	broj komponenata	sastav tonskog signala	komponente tona slijede oblik šuma	indeks modulacije m_a	razina tonskog signala (dB)	ukupna razina (dB)	vrijeme zaustavljanja T_s (s)			
Ručne kružne pile	U odgovarajućim stupcima navede se: srednja vrijednost i standardna devijacija parametara za koje je moguće izračunati ih, odnosno postavak ispitivanja koji je izabran određenu postavku u simulaciji, prema podjelu desno	1234	477	67.7	35.5	100.0	45.0	12.9	59.3	29.0	100.0	19.8	476	9.7	64.3	32.3	96.8	5060	21.1	79.2	33.3	0.29	-7.1	3.0	7000	3.3	12.5	66.7	0.5	0.0	3.0	8.1			
	standardna devijacija	477				0.14	2.8	1.1	1.1		5.0	70	2.6	0.30	9.6	3061	0.9	0.27	9.5	4.4	2.4									0.2	-7.0	2.9	4.2		
	komponenta ukupnog signala uključena; donji nagib suma 12 dB/okt.; gornji nagib suma 6 dB/okt.; oblik tonskog signala: sinusni; harmonici u tonskom signalu: svi; tonske komponente slijede oblik sume			67.7	35.5	100.0		12.9	59.3	29.0	100.0																								
	komponenta ukupnog signala isključena; donji nagib suma 6 dB/okt.; gornji nagib suma 3 dB/okt.; oblik tonskog signala: pravokutni; harmonici u tonskom signalu: parni; tonske komponente ne slijede oblik sume			32.3	48.4	0.0		6.5	18.5	71.0	0.0												3.2												
	gornji nagib suma 0 dB/okt.; oblik tonskog signala: uniformni; harmonici u tonskom signalu: neiparni				16.1			80.6	22.2																										

Tablica A11: Usporedba objektivnih parametara stvarnih i simuliranih zvukova vibracijskih bušilica u praznom hodu

Simulirani zvukovi	μ	σ	Parametri sintetiziranih zvukova uređaja										Parametri zvukova stvarnih uređaja										Glasnoća N (son)	Zw	M & G	Zw	A	Jačina kolebanja F (vacil)	Grubost R (asper)	(dBA)	(dBB)	(dBC)	(dBZ)	Terh.	Aures	Tonalna analiza										f _{fr} (Hz)	PR (dB)	f _{tin} (Hz)	T/W (dB)	R _{ml} (dB)	m _a	f _{mmax} (Hz)	D	R _{mt150} (dB)	m _{s150}	f _{m150} (Hz)	D ₁₅₀	N _{1,50} (%)	N _{5,50} (%)	N _{10,50} (%)	N _{25,50} (%)	f _n (Hz)	g _n (dB/oktavi)	
			f _r (Hz)	f _{hr} (Hz)	V	L ₀ (dB)	L ₅ (dB)	L ₁₀ (dB)	f _{shr} (Hz)	V _{ex}	L ₅₀ (dB)	L ₁₀₀ (dB)	f _{pr} (Hz)	L _{pr} (dB)	L ₁₀₀ (dB)	f _{pr} (Hz)	PR (dB)	f _{tin} (Hz)	T/W (dB)	R _{ml} (dB)	m _a	f _{mmax} (Hz)														D	R _{mt150} (dB)	m _{s150}	f _{m150} (Hz)	D ₁₅₀	N _{1,50} (%)	N _{5,50} (%)	N _{10,50} (%)	N _{25,50} (%)	f _n (Hz)																			g _n (dB/oktavi)
			44,5	48,5	52,5	56,5	60,5	64,5	68,5	72,5	76,5	80,5	84,5	88,5	92,5	96,5	100,5	104,5	108,5	112,5	116,5	120,5														124,5	128,5	132,5	136,5	140,5	144,5	148,5	152,5	156,5	160,5																			164,5
40,8	44,8	48,8	52,8	56,8	60,8	64,8	68,8	72,8	76,8	80,8	84,8	88,8	92,8	96,8	100,8	104,8	108,8	112,8	116,8	120,8	124,8	128,8	132,8	136,8	140,8	144,8	148,8	152,8	156,8	160,8	164,8	168,8	172,8	176,8	180,8	184,8	188,8	192,8	196,8	200,8	204,8	208,8	212,8	216,8	220,8	224,8	228,8	232,8	236,8	240,8														
40,8	44,8	48,8	52,8	56,8	60,8	64,8	68,8	72,8	76,8	80,8	84,8	88,8	92,8	96,8	100,8	104,8	108,8	112,8	116,8	120,8	124,8	128,8	132,8	136,8	140,8	144,8	148,8	152,8	156,8	160,8	164,8	168,8	172,8	176,8	180,8	184,8	188,8	192,8	196,8	200,8	204,8	208,8	212,8	216,8	220,8	224,8	228,8	232,8	236,8	240,8														

Tablica A12: Usporedba objektivnih parametara stvarnih i simuliranih zvukova ubodnih pila u praznom hod

Simulirani zvukovi	μ	σ	Parametri sinteziranih zvukova uređaja																				Parametri zvukova stvarnih uređaja																							
			μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ																												
	57,0	65,7	81,0	2,50	9,28	0,38	0,12	88,0	87,6	88,2	88,9	0,46	0,06	44,3	32,4	106,22	7,6	9,3	-2,2		3224	7,6	3346	5,6	-21,7	0,14	232	0,50	-26,1	0,11	91	0,76	3,97	2,86	2,27	1,22	1570	8,1	-0,7							
	46,1	57,4	68,0	2,08	7,02	0,38	0,32	84,4	80,3	82,7	83,0	0,66	0,33	54,2	26,4	81,41	3,5	8,8	-5,6	21,9	344,7	3,2	6,6	-1,8	55,7	22,6	96	37,1	-12,0	0,43	145,7	0,55	-41,4	0,22	52	0,64	3,15	2,30	1,87	1,06	1020	10,6	-3,6			
	11,5	1,60	1,50	0,30	1,20	0,15	0,36	5,0	14,5	5,0	5,0	0,26	0,16	38,2	38,5	191,6	9,0	9,1	12,0	232	388,6	8,5	7,8	8,0	153,6	8,4	110	10,2	5,0	0,19	282,5	0,27	63,5	0,19	30	0,34	1,18	0,95	0,86	0,59	394	2,6	2,0			

Ubodne pile - prazan hod

Tablica A13_1: Usporedba objektivnih parametara stvarnih i simuliranih zvukova ručnih kružnih pila pri zaustavljanju izvedenih iz glasnoće dobivene Zwickerovim modelom

Table with columns for parameter groups (Stvarni zvukovi, Parametri sintetiziranih zvukova uređaja, Parametri zvukova stvarnih uređaja) and various metrics (f0, A1, A2, (Delta f)A, etc.).

Tablica A14_3: Usporedba ostalih objektivnih parametara stvarnih i simuliranih zvukova vibracijskih bušilica pri zaustavljanju

Vibracijske bušilice zaustavljanje - ostali parametri																																										
Oštrina Zw & F				Oštrina A				Grubost				Kolebanje Ch & F				Tonalnost Terh.				Vrijeme zaustavljanja																						
S_n		S (acum)		S_n		S (acum)		R_n		R (asper)		F_n		F (vacil)		T_n		T (tu)		T_s (s)																						
p1	p0	p1	p0	p1	p0	p1	p0	p1	p0	p1	p0	p1	p0	p1	p0	p1	p0	p1	p0																							
Parametri zvukova stvarnih uređaja																						0,33	0,98	0,38	2,40	-0,21	0,99	-0,70	7,11	11,72	1,49	0,13	0,04	0,45	1,89	0,04	0,33	-0,81	1,10	-0,14	0,39	2,11
																						-0,26	1,01	-0,21	2,56	-0,62	0,96	-1,59	7,58	-0,20	0,92	0,00	0,04	1,54	1,11	0,12	0,27	-0,91	1,09	-0,13	0,47	3,06
																						-0,45	1,09	-0,30	3,43	-0,65	1,00	-1,39	9,88	-2,11	2,53	-0,02	0,09	-0,72	1,93	-0,06	0,72	-0,51	0,63	-0,10	0,59	4,65
																						-0,26	0,99	-0,25	2,72	-0,62	0,97	-1,81	8,17	0,25	1,08	0,00	0,03	0,58	1,17	0,07	0,38	-0,93	1,27	-0,12	0,45	2,87
																						-0,20	1,00	-0,17	2,57	-0,62	0,95	-1,71	7,97	-0,46	1,46	0,00	0,04	0,46	1,23	0,05	0,37	-0,85	1,03	-0,12	0,44	3,04
																						-0,08	1,05	-0,06	2,49	-0,43	1,05	-0,97	7,53	-0,07	0,63	0,00	0,03	0,77	0,49	0,13	0,26	-0,45	0,79	-0,08	0,42	3,17
Parametri sintetiziranih zvukova uređaja																						-0,23	0,96	-0,13	2,18	-0,61	1,08	-1,17	8,36	-0,23	0,18	-0,05	0,16	0,17	0,08	0,21	0,37	-1,00	1,35	-0,13	0,71	4,00
																						-0,03	1,01	-0,01	1,93	-0,46	1,08	-0,60	5,69	-0,25	0,22	-0,04	0,13	0,05	0,08	0,07	0,39	-0,63	1,07	-0,06	0,42	4,00
																						0,00	0,99	0,00	2,48	-0,44	1,08	-0,68	8,09	0,04	0,27	0,00	0,15	0,13	0,07	0,14	0,33	-1,10	2,27	-0,06	0,61	4,80
																						0,06	0,95	0,03	1,77	-0,46	1,06	-0,72	6,80	0,00	0,31	0,00	0,16	0,05	0,07	0,06	0,35	-1,60	2,16	-0,22	1,18	4,00
																						-0,03	1,01	-0,01	2,11	-0,44	1,09	-0,61	6,04	-0,25	0,22	-0,02	0,09	0,04	0,07	0,05	0,33	-1,16	1,85	-0,06	0,41	4,00
																						0,03	0,98	0,01	1,98	-0,43	1,07	-0,69	6,09	-0,41	0,33	-0,07	0,19	0,12	0,05	0,17	0,26	-1,23	1,69	-0,10	0,46	3,50
																						-0,13	1,03	-0,09	2,70	-0,50	1,12	-0,94	8,58	-0,31	0,34	-0,03	0,15	0,12	0,04	0,15	0,21	-1,94	3,18	-0,11	0,70	4,00
																						-0,42	0,95	-0,29	2,64	-0,90	1,07	-2,69	12,91	-0,33	0,26	-0,05	0,17	0,17	0,09	0,21	0,43	-0,83	1,68	-0,07	0,56	4,00
																						-0,54	1,13	-0,34	2,89	-0,80	1,15	-1,75	10,11	-0,36	0,29	-0,08	0,28	0,09	0,09	0,12	0,45	-1,09	1,90	-0,11	0,79	4,00
																						-0,44	0,98	-0,52	2,33	-0,77	1,10	-3,10	9,00	-0,42	0,30	-0,61	0,87	0,15	0,18	0,37	0,84	-1,19	1,67	-0,15	0,44	2,00
																						-0,21	0,96	-0,19	2,09	-0,66	1,07	-2,18	8,56	-0,38	0,31	-0,11	0,23	0,07	0,12	0,15	0,60	-1,05	1,54	-0,27	0,97	2,40
																						0,04	0,97	0,04	2,02	-0,46	1,08	-1,47	7,04	-0,35	0,34	-0,06	0,12	0,08	0,10	0,21	0,49	-1,18	1,54	-0,36	0,94	2,00
																						-0,05	1,01	-0,03	2,68	-0,44	1,07	-0,66	8,14	-0,35	0,31	-0,09	0,40	0,18	0,12	0,18	0,60	-0,06	1,21	0,00	0,26	5,00
																						-0,23	0,94	-0,12	1,96	-0,70	1,05	-1,45	8,85	-0,06	0,16	-0,01	0,16	0,09	0,07	0,12	0,35					4,00
																						0,09	0,95	0,08	1,76	-0,44	1,07	-1,41	6,94	-0,44	0,37	-0,16	0,27	0,10	0,10	0,25	0,51	-1,16	1,73	-0,25	0,74	2,00
																						-0,46	1,04	-0,28	2,55	-0,72	1,08	-1,50	9,05	-0,09	0,22	-0,01	0,15	0,11	0,06	0,14	0,33	-1,28	1,61	-0,24	1,20	4,00
																						-0,17	1,01	-0,08	1,92	-0,57	1,01	-1,03	7,39	-0,29	0,23	-0,06	0,21	0,11	0,06	0,14	0,30	-0,63	1,13	-0,06	0,46	4,00
																						-0,06	1,00	-0,03	2,16	-0,51	1,07	-0,95	8,07	-0,36	0,37	-0,04	0,16	0,10	0,06	0,13	0,30	-1,12	2,38	-0,09	0,75	4,00
																						-0,08	0,98	-0,07	2,18	-0,47	1,07	-1,23	7,28	-0,24	0,25	-0,06	0,15	0,07	0,08	0,13	0,41	-1,00	1,62	-0,19	0,81	2,60
																						-0,25	0,95	-0,17	1,97	-0,68	1,08	-1,75	8,68	-0,22	0,21	-0,08	0,23	0,07	0,10	0,11	0,51	-0,95	1,87	-0,12	0,77	3,10
																						0,12	0,95	0,05	2,00	-0,38	1,08	-0,46	7,32	-0,18	0,29	-0,02	0,18	0,11	0,04	0,10	0,21	-1,28	1,57	-0,09	0,61	5,50
																						-0,36	1,07	-0,24	2,91	-0,64	1,23	-1,18	9,15	0,23	0,27	0,02	0,10	0,18	0,05	0,22	0,24	-1,38	2,24	-0,14	0,95	4,00
																						-0,08	1,02	-0,08	1,88	-0,55	1,08	-1,56	6,23	-0,55	0,44	-0,46	0,75	0,17	0,19	0,43	0,91					2,00
																						-0,17	1,03	-0,09	2,24	-0,53	1,13	-0,92	7,93	-0,45	0,52	-0,28	1,33	0,22	0,06	0,27	0,31	-1,22	1,51	-0,22	1,10	4,00
																						-0,24	1,07	-0,15	2,63	-0,60	1,15	-1,11	8,66	-0,25	0,22	-0,03	0,09	0,13	0,05	0,17	0,24	-1,59	2,33	-0,08	0,47	4,00
-0,36	1,07	-0,26	3,16	-0,66	1,19	-1,35	9,88	-0,45	0,43	-0,08	0,32	0,18	0,09	0,21	0,45	-1,31	1,54	-0,16	0,74	4,00																						
-0,30	0,99	-0,18	2,33	-0,62	1,09	-1,19	7,93	-0,26	0,20	-0,07	0,20	0,13	0,06	0,17	0,28	-1,03	1,71	-0,13	0,81	3,80																						
0,07	0,96	0,04	1,96	-0,50	1,10	-1,11	8,87	-0,30	0,27	-0,04	0,14	0,08	0,06	0,12	0,30	-1,19	2,36	-0,09	0,67	3,60																						
-0,26	1,05	-0,18	2,61	-0,52	1,14	-1,04	8,34	-0,27	0,24	-0,03	0,10	0,19	0,05	0,26	0,22	-1,45	1,88	-0,16	0,76	3,60																						
-0,13	0,96	-0,07	2,27	-0,57	1,10	-0,97	8,21	-0,37	0,30	-0,12	0,42	0,16	0,05	0,19	0,28	-1,12	2,10	-0,07	0,54	4,30																						

Stvarni zvukovi	μ	-0,15	1,02	-0,10	2,69	-0,52	0,99	-1,36	8,04	1,52	1,35	0,02	0,04	0,51	1,30	0,06	0,39	-0,74	0,98	-0,11	0,46	3,15
	σ	0,26	0,04	0,25	0,37	0,18	0,04	0,44	0,98	5,06	0,66	0,06	0,02	0,73	0,54	0,07	0,17	0,21	0,23	0,02	0,07	0,83

Sintetizirani zvukovi	μ	-0,16	1,00	-0,11	2,28	-0,57	1,09	-1,25	8,14	-0,27	0,29	-0,09	0,27	0,12	0,08	0,18	0,39	-1,14	1,81	-0,14	0,71	3,67
	σ	0,18	0,05	0,14	0,37	0,13	0,04	0,60	1,43	0,17	0,08	0,13	0,27	0,05	0,04	0,08	0,17	0,34	0,45	0,08	0,24	0,89

Tablica A15_2: Usporedba objektivnih parametara stvarnih i simuliranih zvukova ubodnih pila pri zaustavljanju izvedenih iz glasnoće dobivene Mooreovim i Glasbergovim modelom

Simulirani zvukovi	μ	σ	Ubdone pile zaustavljanje - glasnoća Moore & Glasberg											
			Parametri stvarnih uređaja				Parametri sinteziranih zvukova uređaja				Parametri stvarnih uređaja			
			L_{eq}	ΔC	$A_{N_{eq}}$ - usrednjanje 100 ms	A_I	$A_{N_{eq}}$ - usrednjanje 500 ms	A_I	ΔC	L_{eq}	ΔC	$A_{N_{eq}}$ - usrednjanje 100 ms	A_I	$A_{N_{eq}}$ - usrednjanje 500 ms
0.37	1.46	0.28	128.2	1.72	4.76	2.64	1.83	103.7	1.71	4.80	3.91	1.85	104.2	1.80
0.37	1.46	0.28	128.2	1.72	4.76	2.64	1.83	103.7	1.71	4.80	3.91	1.85	104.2	1.80

Tablica A15_3: Usporedba ostalih objektivnih parametara stvarnih i simuliranih zvukova ubodnih pila pri zaustavljanju

		Ubodne pile zaustavljanje - ostali parametri																				
		Oštrina Zw & F				Oštrina A				Grubost				Kolebanje Ch & F				Tonalnost Terh.				Vrijeme zaustavljanja
		S_n		S (acum)		S_n		S (acum)		R_n		R (asper)		F_n		F (vacil)		T_n		T (tu)		T_s (s)
		p1	p0	p1	p0	p1	p0	p1	p0	p1	p0	p1	p0	p1	p0	p1	p0	p1	p0	p1	p0	
Parametri zvukova stvarnih uređaja		-0,27	1,06	-0,24	2,90	-0,68	1,03	-2,24	10,39	4,46	1,18	0,08	0,06	2,71	0,81	0,34	0,31	-0,68	0,88	-0,12	0,49	3,06
		-0,12	1,05	-0,14	2,55	-0,58	1,01	-2,50	9,17	-0,38	1,05	-0,02	0,11	0,57	0,59	0,20	0,44	-0,89	1,22	-0,18	0,51	2,12
		-0,24	1,00	-0,16	2,55	-0,60	0,96	-1,34	8,31	4,63	0,87	0,04	0,03	1,22	0,64	0,13	0,27	-0,71	1,30	-0,05	0,39	3,87
		-0,04	0,99	-0,02	2,41	-0,51	0,98	-1,04	8,94	2,37	1,99	0,02	0,07	1,90	0,54	0,17	0,22	-0,53	0,81	-0,08	0,52	4,48
		-0,28	1,03	-0,29	2,72	-0,62	0,98	-2,04	8,45	4,47	-0,31	0,09	-0,02	1,74	0,67	0,25	0,26	-0,74	0,97	-0,13	0,45	2,63
		-0,15	1,03	-0,16	2,67	-0,60	1,03	-2,55	10,59	-0,16	0,99	-0,02	0,31	1,94	1,02	0,35	0,44	-0,46	0,97	-0,07	0,37	2,40
Parametri sintetiziranih zvukova uređaja		0,04	0,96	0,01	1,68	-0,46	1,07	-0,54	6,26	-0,54	0,53	-0,23	1,14	0,26	0,11	0,27	0,55	-1,22	1,55	-0,10	0,65	5,00
		0,01	1,02	0,00	1,93	-0,42	1,08	-0,26	5,37	-0,24	0,20	-0,03	0,17	0,11	0,09	0,07	0,42	-0,77	1,27	-0,03	0,34	8,00
		0,02	0,99	0,01	2,00	-0,42	1,07	-0,42	5,98	-0,34	0,29	-0,04	0,17	0,09	0,08	0,08	0,40	-1,25	1,68	-0,08	0,62	5,50
		-0,35	1,06	-0,18	2,72	-0,62	1,15	-0,99	9,19	0,79	0,12	0,13	0,09	0,12	0,07	0,12	0,33					5,00
		0,00	1,03	0,00	1,80	-0,47	1,09	-0,55	5,22	-0,31	0,26	-0,05	0,16	0,08	0,09	0,10	0,43	-1,04	1,84	-0,05	0,36	4,00
		-0,04	0,96	-0,02	2,19	-0,49	1,07	-0,75	6,73	-0,35	0,28	-0,09	0,28	0,16	0,09	0,20	0,42	-1,44	1,48	-0,17	0,69	4,00
		0,01	1,01	0,00	2,03	-0,48	1,08	-0,94	7,48	-0,42	0,35	-0,11	0,32	0,08	0,08	0,12	0,40	-0,69	1,60	-0,06	0,51	3,50
		0,14	0,93	0,07	1,73	-0,45	1,05	-0,67	6,36	-0,61	0,52	-0,53	1,86	0,17	0,28	0,21	1,38	1,92	0,72	0,05	0,08	4,00
		-0,04	0,98	-0,03	2,00	-0,53	1,08	-1,36	8,46	-0,42	0,39	-0,09	0,25	0,06	0,09	0,10	0,45	-0,74	1,27	-0,15	0,79	3,00
		0,07	0,97	0,03	1,91	-0,46	1,07	-0,76	7,24	-0,48	0,42	-0,14	0,52	0,19	0,09	0,25	0,45	-0,79	1,09	-0,15	0,85	4,00
		0,14	0,97	0,07	1,94	-0,41	1,09	-0,66	7,04	-0,46	0,44	-0,11	0,42	0,13	0,07	0,16	0,36	-1,05	1,26	-0,16	0,76	4,00
		-0,09	0,99	-0,06	2,06	-0,52	1,06	-1,08	7,40	-0,18	0,23	-0,03	0,15	0,06	0,08	0,09	0,40	-1,39	1,89	-0,27	1,22	3,30
		0,04	0,99	0,01	2,35	-0,41	1,07	-0,41	7,64	-0,16	0,19	-0,02	0,14	0,12	0,05	0,09	0,23	-0,96	1,33	-0,07	0,70	7,00
		-0,12	0,97	-0,06	1,77	-0,53	1,04	-0,77	6,04	-0,23	0,20	-0,05	0,17	0,10	0,06	0,12	0,28	-1,12	1,57	-0,21	1,19	4,00
		-0,23	0,94	-0,13	2,16	-0,73	1,08	-1,63	9,80	-0,28	0,22	-0,05	0,17	0,14	0,08	0,18	0,42	-1,02	1,49	-0,12	0,69	4,00
		-0,46	1,00	-0,32	2,79	-0,74	1,09	-1,66	9,87	-0,22	0,31	-0,05	0,28	0,12	0,08	0,14	0,38	-1,19	1,58	-0,20	1,08	4,00
		-0,14	0,96	-0,06	1,74	-0,61	1,07	-0,97	6,91	-0,24	0,20	-0,04	0,14	0,11	0,06	0,15	0,30	-1,23	1,78	-0,21	1,21	4,00
		0,13	0,97	0,08	2,31	-0,39	1,07	-0,74	8,13	-0,41	0,35	-0,05	0,18	0,09	0,05	0,12	0,24	-1,18	1,47	-0,15	0,75	4,00
		-0,15	1,02	-0,13	2,81	-0,52	1,10	-1,40	9,55	-0,34	0,33	-0,09	0,27	0,13	0,09	0,20	0,45	-0,56	1,20	-0,07	0,52	3,20
		0,07	0,98	0,03	2,02	-0,46	1,07	-0,81	7,56	-0,46	0,39	-0,30	1,03	0,20	0,16	0,25	0,80	-0,43	0,68	-0,06	0,38	4,00
		0,04	0,97	0,02	1,90	-0,47	1,07	-0,80	7,39	-0,57	0,50	-0,24	0,88	0,22	0,10	0,29	0,52	-0,81	1,11	-0,16	0,86	4,00
		-0,26	1,08	-0,15	2,29	-0,66	1,19	-1,45	9,49	-0,40	0,39	-0,12	0,41	0,21	0,04	0,30	0,22	-1,29	1,82	-0,19	0,99	3,60
		0,10	0,93	0,07	1,60	-0,39	1,06	-0,78	5,32	-0,37	0,51	-0,10	0,33	0,07	0,08	0,15	0,43	-1,24	1,52	-0,29	0,89	2,50
		-0,09	0,99	-0,06	1,97	-0,50	1,09	-1,16	7,35	-0,62	0,54	-0,50	1,28	0,26	0,11	0,45	0,57	-0,98	1,53	-0,16	0,73	2,90
		0,19	0,92	0,08	1,65	-0,41	1,08	-0,63	6,82	-0,47	0,42	-0,30	1,09	0,22	0,12	0,28	0,58					4,00
		-0,27	1,07	-0,17	2,67	-0,53	1,14	-1,03	8,96	-0,59	0,49	-0,08	0,27	0,15	0,06	0,19	0,33	-1,10	1,52	-0,18	1,02	4,00
		0,10	0,96	0,05	1,79	-0,43	1,08	-0,60	6,05	-0,52	0,46	-0,31	1,13	0,22	0,11	0,28	0,55	-1,35	1,57	-0,13	0,62	4,00
	0,07	0,94	0,05	1,80	-0,39	1,05	-0,74	5,91	-0,34	0,26	-0,12	0,26	0,09	0,10	0,15	0,48	-1,21	1,66	-0,19	0,77	2,90	
	0,12	0,93	0,06	1,62	-0,47	1,07	-0,85	7,66	-0,33	0,28	-0,09	0,29	0,13	0,12	0,17	0,58	-0,37	1,18	-0,03	0,40	3,90	
	-0,03	0,97	-0,02	2,04	-0,49	1,07	-0,84	7,34	-0,38	0,48	-0,15	0,75	0,18	0,15	0,22	0,72	-0,93	1,18	-0,23	1,18	4,00	

Stvarni zvukovi	μ	-0,19	1,03	-0,17	2,63	-0,60	1,00	-1,95	9,31	2,57	0,96	0,03	0,09	1,68	0,71	0,24	0,32	-0,67	1,02	-0,11	0,45	3,09
	σ	0,10	0,03	0,09	0,17	0,06	0,03	0,63	0,97	2,35	0,74	0,05	0,11	0,73	0,18	0,09	0,10	0,16	0,19	0,05	0,06	0,91

Sintetizirani zvukovi	μ	-0,03	0,98	-0,02	2,04	-0,50	1,08	-0,88	7,35	-0,35	0,35	-0,13	0,49	0,14	0,09	0,18	0,47	-0,91	1,42	-0,14	0,74	4,11
	σ	0,16	0,04	0,09	0,34	0,09	0,03	0,35	1,35	0,25	0,12	0,14	0,44	0,06	0,04	0,09	0,22	0,62	0,30	0,08	0,29	1,12

Tablica A16_2: Rezultati analize korelacije objektivnih i subjektivnih parametara za zvuk svih uređaja u praznom hodu - sažetak

		Doživljaj zvuka		Doživljaj uređaja					
		neugodan	opasan / siguran	robustan / krhak	jeftin / skup	snažan / slab	kvalitetan / nekvalitetan	neispravan / ispravan	Želja za kupnjom
Glasnoća	CH & F (son)	0,688	-0,569	-0,508	0,084	-0,489	0,143	-0,118	-0,476
	Z (son)	0,694	-0,580	-0,537	0,132	-0,513	0,093	-0,075	-0,450
	MG (son)	0,669	-0,553	-0,546	0,137	-0,506	0,069	-0,048	-0,427
Oštrina	Z (acum)	0,497	-0,624	0,215	-0,600	-0,109	0,645	-0,647	-0,577
	A (acum)	0,854	-0,806	-0,473	-0,096	-0,562	0,300	-0,299	-0,633
Jačina kolebanja	(vacil)	0,447	-0,478	0,086	-0,335	-0,170	0,518	-0,565	-0,545
Grubost	(asper)	0,292	-0,258	0,058	-0,454	0,061	0,415	-0,451	-0,388
Razina zvučnog tlaka	(dBA)	0,738	-0,609	-0,410	-0,018	-0,420	0,225	-0,221	-0,549
	(dBB)	0,731	-0,600	-0,410	-0,012	-0,411	0,217	-0,211	-0,542
	(dBC)	0,590	-0,434	-0,419	0,079	-0,471	0,120	-0,164	-0,410
	(dBZ)	0,834	-0,714	-0,378	-0,114	-0,445	0,329	-0,279	-0,652
Tonalnost	Terh. (tu)	0,101	-0,108	0,280	-0,183	0,250	0,225	-0,369	-0,166
	Aures (tu)	0,390	-0,402	0,143	-0,291	0,051	0,439	-0,523	-0,377
Tonalna analiza	f_T (Hz)	0,457	-0,562	-0,526	0,197	-0,488	-0,045	0,033	-0,174
	f_{hr} (Hz)	0,151	-0,169	-0,125	0,147	-0,134	-0,148	0,174	-0,051
	V	0,491	-0,576	-0,240	-0,095	-0,156	0,202	-0,252	-0,398
	L_e (dB)	0,287	-0,259	-0,230	0,050	-0,159	0,041	0,051	-0,204
	f_{pr} (Hz)	0,383	-0,377	-0,377	0,201	-0,324	-0,050	0,266	-0,259
	PR (dB)	0,357	-0,378	0,034	-0,168	-0,013	0,249	-0,325	-0,315
	f_{vn} (Hz)	0,416	-0,342	-0,253	0,111	-0,233	-0,056	0,034	-0,274
	T/N (dB)	0,179	-0,177	0,053	-0,121	0,033	0,171	-0,323	-0,076
Vremenska ovojnica	R_{mt} (dB)	0,707	-0,691	-0,169	-0,465	-0,241	0,488	-0,575	-0,611
	m_a	0,659	-0,660	-0,065	-0,581	-0,128	0,556	-0,607	-0,624
	f_{mmax} (Hz)	0,433	-0,376	-0,764	0,421	-0,657	-0,295	0,294	0,051
	D	0,296	-0,296	0,190	-0,593	0,065	0,509	-0,582	-0,403
	m_{a150}	0,303	-0,303	0,250	-0,676	0,145	0,573	-0,617	-0,462
	f_{m150} (Hz)	-0,289	0,376	0,488	-0,269	0,236	0,102	-0,122	0,140
	D_{150}	-0,016	0,043	0,425	-0,553	0,313	0,390	-0,432	-0,175
Statistička glasnoća	$N_{1,50}$ (%)	0,376	-0,498	0,337	-0,575	0,342	0,557	-0,622	-0,561
	$N_{5,50}$ (%)	0,396	-0,483	0,361	-0,581	0,285	0,611	-0,692	-0,577
	$N_{10,50}$ (%)	0,416	-0,499	0,328	-0,561	0,216	0,623	-0,704	-0,591
	$N_{25,50}$ (%)	0,451	-0,520	0,286	-0,540	0,131	0,663	-0,738	-0,610
Spektralna ovojnica	f_n (Hz)	0,420	-0,293	-0,015	-0,127	-0,031	0,149	-0,188	-0,362
	d_n (dB/oktavi)	-0,215	0,123	0,332	-0,222	0,495	-0,057	0,043	0,105
	g_n (dB/oktavi)	0,045	-0,258	0,139	-0,414	-0,042	0,279	-0,306	-0,169

Razina statističke značajnosti	0,05
	0,01
	0,001

Tablica A17_2: Rezultati analize korelacije objektivnih i subjektivnih parametara za zvuk svih uređaja pri zaustavljanju - sažetak

			Doživljaj zvuka		Doživljaj uređaja					
			neugodan	opasan / siguran	robustan / krhak	jeftin / skup	snažan / slab	kvalitetan / nekvalitetan	neispravan / ispravan	želja za kupnjom
Glasnoća Zwicker & Fastl	Koeffizijenti polinoma trećeg stupnja kao aproksimacije glasnoće	p3	-0,018	-0,024	-0,250	0,165	-0,262	-0,107	0,129	0,038
		p2	-0,035	0,062	0,192	-0,120	0,242	0,033	-0,012	0,018
		p1	0,070	-0,072	-0,109	0,077	-0,199	0,037	-0,108	-0,064
		p0	-0,241	0,182	0,069	-0,007	0,301	-0,047	-0,050	0,189
	t_{ni}		-0,045	0,005	-0,070	0,030	-0,029	-0,052	0,121	0,123
	Δc		-0,071	0,111	0,189	-0,093	0,224	0,011	0,010	0,043
	Koeffizijenti pravca kao linearne aproksimacije ponašanja kolebanja glasnoće - usrednjavanje 100 ms	p1	0,365	-0,386	0,305	-0,426	0,286	0,422	-0,491	-0,378
		p0	0,222	-0,218	0,122	-0,125	-0,091	0,177	-0,215	-0,252
	A_{Nrel} - usrednjavanje 100 ms		0,593	-0,616	0,456	-0,608	0,300	0,636	-0,746	-0,627
	Koeffizijenti pravca kao linearne aproksimacije ponašanja kolebanja glasnoće - usrednjavanje 500 ms	p1	0,096	-0,065	0,088	-0,136	0,224	0,175	-0,301	-0,064
		p0	0,318	-0,329	0,121	-0,181	-0,129	0,203	-0,130	-0,335
	A_{Nrel} - usrednjavanje 500 ms		0,634	-0,592	0,337	-0,514	0,234	0,617	-0,749	-0,600
	A_f		-0,108	0,097	0,127	-0,065	0,232	-0,055	0,182	0,093
	A_t		-0,027	0,042	0,117	-0,059	0,097	-0,028	0,180	0,016
	$(\Delta N_{rel})_x$ (%) - usrednjavanje 100 ms	1	0,449	-0,431	0,237	-0,411	0,233	0,439	-0,497	-0,415
		5	0,539	-0,559	0,417	-0,550	0,304	0,571	-0,674	-0,560
		10	0,566	-0,596	0,435	-0,587	0,284	0,607	-0,711	-0,597
		25	0,589	-0,638	0,459	-0,629	0,271	0,656	-0,766	-0,643
		50	0,636	-0,644	0,548	-0,660	0,346	0,688	-0,816	-0,689
		75	0,633	-0,626	0,542	-0,618	0,325	0,663	-0,803	-0,677
	$(\Delta N_{rel})_x$ (%) - usrednjavanje 500 ms	1	0,163	-0,084	-0,060	-0,065	0,021	0,140	-0,205	-0,079
		5	0,351	-0,274	0,224	-0,282	0,239	0,372	-0,510	-0,310
		10	0,500	-0,489	0,274	-0,406	0,223	0,495	-0,648	-0,474
		25	0,748	-0,754	0,437	-0,648	0,217	0,730	-0,834	-0,756
50		0,782	-0,757	0,444	-0,647	0,220	0,729	-0,828	-0,767	
75		0,799	-0,747	0,491	-0,653	0,247	0,726	-0,808	-0,783	
Oštrina Zwicker & Fastl	S_n	p1	-0,340	0,332	-0,344	0,289	-0,118	-0,298	0,336	0,325
		p0	0,443	-0,313	0,240	-0,289	0,051	0,331	-0,331	-0,354
	S (acum)	p1	-0,256	0,197	-0,303	0,194	-0,170	-0,175	0,189	0,184
		p0	0,556	-0,496	0,381	-0,420	0,178	0,476	-0,492	-0,527
Oštrina Aures	S_n	p1	-0,440	0,450	-0,324	0,376	-0,105	-0,386	0,409	0,439
		p0	0,178	-0,130	0,152	-0,132	0,122	0,208	-0,287	-0,192
	S (acum)	p1	-0,344	0,222	-0,217	0,217	-0,227	-0,236	0,247	0,253
		p0	0,759	-0,761	0,498	-0,739	0,237	0,748	-0,775	-0,814
Grubost Daniel & Weber	R_n	p1	-0,234	0,154	-0,405	0,274	-0,190	-0,201	0,095	0,199
		p0	0,464	-0,573	0,271	-0,448	-0,058	0,511	-0,548	-0,503
	R (asper)	p1	-0,260	0,218	-0,420	0,300	-0,136	-0,255	0,184	0,288
		p0	0,691	-0,617	0,667	-0,662	0,393	0,695	-0,747	-0,697
Kolebanje Ch & F	F_n	p1	0,062	-0,117	0,199	-0,207	0,265	0,165	-0,225	-0,122
		p0	0,363	-0,381	-0,020	-0,170	-0,169	0,275	-0,252	-0,283
	F (vacil)	p1	0,155	-0,084	0,231	-0,187	0,340	0,165	-0,231	-0,126
		p0	0,710	-0,651	0,301	-0,498	0,011	0,572	-0,557	-0,643
Tonalnost Terhardt	T_n	p1	0,243	-0,232	0,089	-0,213	-0,027	0,217	-0,257	-0,217
		p0	-0,327	0,307	0,116	0,110	0,233	-0,217	0,240	0,207
	T (tu)	p1	-0,021	-0,058	0,251	-0,180	0,134	0,096	-0,119	-0,110
		p0	0,401	-0,408	-0,013	-0,238	-0,215	0,269	-0,186	-0,348
Vrijeme zaustavljanja	T_s (s)		0,172	-0,240	0,042	-0,183	-0,125	0,163	-0,164	-0,131

Razina statističke značajnosti	0,05
	0,01
	0,001

Popis literature

- [1] K. Genuit, *Background and Practical Examples of Sound Design*, Acta Acustica united with Acustica **83** (1997), str. 805-812.
- [2] P. Susini, S. McAdams, S. Winsberg, I. Perry, S. Vieillard, X. Rodet, *Characterizing the sound quality of air-conditioning noise*, Applied Acoustics **65** (2004), str. 763–790.
- [3] J.Y. Jeon, J. You, H.Y. Chang, *Sound radiation and sound quality characteristics of refrigerator noise in real living environments*, Applied Acoustics **68** (2007), str. 1118–1134.
- [4] U. Widmann: *Three application examples for sound quality design using psychoacoustic tools*, Acta Acustica united with Acustica **83** (1997), str. 819-826.
- [5] G. Lemaitre, P. Susini, S. Winsberg, S. McAdams, B. Letinturier, *The Sound Quality of Car Horns: Designing New Representative Sounds*, Acta Acustica united with Acustica **95** (2009), str. 356-372.
- [6] S.H. Shin, J.G. Ih, T. Hashimoto, S.Hatano, *Sound quality evaluation of the booming sensation for passenger cars*, Applied Acoustics **70** (2009), str. 309-320.
- [7] T. Baird, *Survey of Sound Quality Research and Applications in the Information Technology Industry*, Proc. Acoustics '08, Paris, 2008.
- [8] E. Parizet, E. Guyader, V. Nosulenko, *Analysis of car door closing sound quality*, Applied Acoustics **69** (2008), str. 12–22.
- [9] A. Nykänen, A. Sirkka, *Specification of component sound quality applied to automobile power windows*, Applied Acoustics **70** (2009), str. 813-820.
- [10] T.C. Lim, *Correlations between deficiencies in power window systems influencing sound quality and some psychoacoustic metrics*, Applied Acoustics **62** (2001), str.1025-1047.
- [11] R. Hoeldrich, M. Pflueger, *A Parameterized Model of Psychoacoustical Roughness for Objective Vehicle Noise Quality Evaluation*, Joanneum Research Forschungs-GmbH, Graz

- [12] J. Blauert, U. Jekosch, *Sound-Quality Evaluation - A Multi-Layered Problem*, Acta Acustica united with Acustica **83** (1997), str. 747-753.
- [13] C.L. Fog, T.H. Pedersen, *Introduction to Product Sound Quality*, Notes of Nordic Acoustical Meeting, Stockholm, 1998, str. 12-19.
- [14] R.H. Lyon, *Sound Quality Engineering*, Technical Brief No.42, RH Lyon Division
- [15] R.H. Lyon, *Designing for Product Sound Quality*, Marcel Dekker Inc, New York, 2000.
- [16] U. Jekosch, *Meaning in the Context of Sound Quality Assessment*, Acta Acustica united with Acustica **85** (1999), str. 681-684.
- [17] J. A. Forgas: Mood and judgment: *The affect infusion model (AIM)*, Psych. Bul. **117** (1995), str. 39-66.
- [18] M. Horvat, K. Jambrošić, H. Domitrović, Influence of Short Term Noise on Concentration and Human Performance, Proceedings of NAG DAGA 2009, Rotterdam, 2009, 3 str.
- [19] K. Levak, M. Horvat, H. Domitrović, *Effects of noise on humans*, Proceedings of ELMAR-2008, Zadar, 2008, str. 333-336.
- [20] D. Västfjäll, *Contextual Influences on Sound Quality Evaluation*, Acta Acustica united with Acustica **90** (2004), str. 1029-1036.
- [21] C.L. Fog, T.H. Pedersen, *Tools for Product Optimization*, Delta Acoustics &Vibration **6** (1999), str. 126-133.
- [22] C.L. Fog, *Use of Product Sound Optimization Tools*, Delta Acoustics & Vibration **5** (1999), str. 16-23
- [23] H. Fastl, E. Zwicker, *Psychoacoustics - Facts and Models*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2007.
- [24] B.R. Glasberg, B.C.J. Moore, *Derivation of Auditory Filter Shapes from Notched-Noise Data*, Hearing Research **47** (1990), str. 103-138.
- [25] B.R. Glasberg, B.C.J. Moore, *Frequency selectivity as a function of level and frequency measured with uniformly exciting notched noise*, Journal of Acoust. Soc. Am. **108** (2000), str. 2318-2328.

- [26] B.C.J. Moore, R.W. Peters, B.R. Glasberg, *Auditory Filter Shapes at Low Center Frequencies*, J. of Acoust. Soc. Am. **88** (1990), str. 132-140.
- [27] B.C.J. Moore, B.R. Glasberg, *Formulae describing frequency selectivity as a function of frequency and level, and their use in calculating excitation patterns*, Hearing Research **28** (1987), str. 209-225.
- [28] B.C.J. Moore, B.R. Glasberg, *Suggested formulae for calculating auditory-filter bandwidths and excitation patterns*, J. of Acoust. Soc. Am. **74** (1983), str. 750-753.
- [29] D. W. Robinson, R. S. Dadson, *A re-determination of the equal-loudness relations for pure tones*, British Journal of Applied Physics **7** (1956), str. 166-181.
- [30] E. Zwicker, R. Feldtkeller, *Über die Lautstärke von Gleichförmigen Geräuschen*, Acustica **5** (1955), str. 303-316.
- [31] B. G. Churcher, A. J. King, *The performance of noise meters in terms of the primary standard*, J. Inst. Electr. Eng. **81** (1937), str. 57-90.
- [32] H. Fletcher and W. A. Munson, *Loudness, its definition, measurement and calculation*, Journal of Acoustical Society of America **5** (1933), str. 82-108.
- [33] B. Kirk, *Hørestyrke og genevirkning af infralyd*, Institute of Electronic Systems, Aalborg University, Aalborg, Denmark, 1983, str. 1-111.
- [34] H. Takeshima, Y. Suzuki, K. Ashihara, T. Fujimori, *Equal-loudness contours between 1 kHz and 12.5 kHz for 60 and 80 phons*, Acustical Science and Technology **23** (2002), str. 106-109.
- [35] H. Takeshima, Y. Suzuki, H. Fujii, M. Kumagai, K. Ashihara, T. Fujimori, T. Sone, *Equal-loudness contours measured by the randomized maximum likelihood sequential procedure*, Acustica - Acta Acustica **87** (2001), str. 389-399.
- [36] M.A. Bellmann, V. Mellert, C. Reckhardt, H. Remmers, *Sound and vibration at low frequencies*, Joint meeting of ASA, EAA and DAGA, 1999, Berlin, Germany, Journal of Acoustical Society of America **105** (1999), str. 1297.
- [37] H. Takeshima, Y. Suzuki, M. Kumagai, T. Sone, T. Fujimori, H. Miura, *Equal-loudness level measured with the method of constant stimuli - Equal-loudness level contours for pure tone under free field listening condition (II)*, Journal of Acoustical Society of Japan (E) **18** (1997), str. 337-340.

- [38] M. Lydolf, H. Møller, *New measurements of the threshold of hearing and equal-loudness contours at low frequencies*, Proceedings of The 8th International Meeting on Low Frequency Noise and Vibration, Gothenburg, Sweden, 1997, str. 76-84.
- [39] T. Poulsen, L. Thøgersen, *Hearing threshold and equal loudness level contours in a free sound field for pure tones from 1 kHz to 16 kHz*, Proceedings of Nordic Acoustical Meeting, 1994, str. 195-198.
- [40] T. Watanabe, H. Møller, *Low frequency hearing thresholds in pressure field and in free field*, Journal of Low Frequency Noise and Vibration **9** (1990), str. 106-115.
- [41] T. Watanabe, H. Møller, *Hearing threshold and equal loudness contours in free field at frequencies below 1 kHz*, Journal of Low Frequency Noise and Vibration **9** (1990), str. 135-148.
- [42] H. Fastl, A. Jaroszewski, E. Shorer, E. Zwicker, *Equal loudness contours between 100 and 1000 Hz for 30, 50 and 70 phon*, Acustica **70** (1990), str. 197-201.
- [43] S. Suzuki, Y. Suzuki, S. Kono, T. Sone, M. Kumagai, H. Miura, H. Kado, *Equal-loudness level contours for pure tone under free field listening condition (I) - Some data and considerations on experimental conditions*, Journal of Acoustical Society of Japan (E) **10** (1989), str. 329-338.
- [44] K. Betke, V. Mellert, *New measurements of equal-loudness level contours*, Proceedings of Internoise 89, 1989, str. 793-796.
- [45] H. Møller, J. Andersen, *Loudness of pure tones at low and infrasonic frequencies*, Journal of Low Frequency Noise and Vibration **3** (1984), str. 78-87.
- [46] - *Akustika - Normalne krivulje jednakih razina glasnoće (ISO 226:2003)*, hrvatska norma HRN ISO 226:2005
- [47] - *Akustika - Metoda računanja razine glasnoće (ISO 532:1975)*, hrvatska norma HRN ISO 532:2001
- [48] - *Procedure for calculating loudness level and loudness (DIN 45631:1991)*
- [49] B.C.J. Moore, B.R. Glasberg, T. Baer, *A model for the Prediction of Thresholds, Loudness, and Partial Loudness*, Journal of the Audio Eng. Soc. **45** (1997), str. 224-240.

- [50] - *Calculation of loudness level and loudness from the sound spectrum - Zwicker method - Amendment 1: Calculation of the loudness of time-variant sound*; with CD-ROM (DIN 45631/A1:2010)
- [51] B.R. Glasberg, B.C.J. Moore, *A Model of Loudness Applicable to Time-Varying Sounds*, Journal of the Audio Eng. Soc. **50** (2002), str. 331-342.
- [52] - *Measurement technique for the simulation of the auditory sensation of sharpness* (DIN 45692:2009)
- [53] G. von Bismarck, *Sharpness as an Attribute of the Timbre of Steady State Sounds*, Acustica **30** (1974), str. 159-172.
- [54] W. Aures, *Procedure for Calculating the Sensory Euphony of Arbitrary Sound Signals*, Acustica **59** (1985), str. 130-141.
- [55] E. Terhardt, *Über die durch amplitudenmodulierte Sinustöne hervorgerufene Hörempfindung*, Acustica **20** (1968), str. 210-214.
- [56] E. Terhardt, *Akustische Kommunikation - Grundlagen mit Hörbeispielen*, Springer, Berlin, Heidelberg, 1998.
- [57] E. Terhardt, *Über akustische Rauigkeit und Schwankungsstärke*, Acustica **20** (1968), str. 215-224.
- [58] M. Guirao, J.M. Garavilla, *Perceived roughness of amplitude-modulated tones and noise*, J. Acoust. Soc. Am. **60** (1976), str. 1335-1338.
- [59] A. Vogel, *Über den Zusammenhang zwischen Rauigkeit und Modulationsgrad*, Acustica **32** (1975), str. 300-306.
- [60] E. Terhardt, *On the perception of periodic sound fluctuations (roughness)*, Acustica **30** (1974), str. 201-213.
- [61] W. Aures, *Ein Berechnungsverfahren der Rauigkeit*, Acustica **58** (1985), str. 268-281.
- [62] U.T. Zwicker, *Diotische und dichotische Wahrnehmung von Schallfluktuationen*, Acustica **55** (1984), str. 181-186.
- [63] U. Widmann, H. Fastl, *Calculating roughness using time-varying specific loudness spectra*, Proc. Sound Quality Symposium '98 (1998), str. 55-60.

- [64] P. Daniel, R. Weber, *Psychoacoustical roughness: Implementation of an optimized model*, *Acustica* **83** (1997), str. 113-123.
- [65] M. Horvat, *Mjerenje usmjernih karakteristika zvučnika*, seminarski rad iz predmeta Linearne integralne i diskretne transformacije, 2005, 20 str.
- [66] E. Terhardt, G. Stoll, M. Seewann, *An algorithm for extraction of pitch and pitch salience from complex tonal signals*, *J. Acoust. Soc. Am.* **71** (1982), str. 679-688.
- [67] - *Akustika – Mjerenje buke koju emitira informatička i telekomunikacijska oprema* (ISO 7779:1999; EN ISO 7779:2001), hrvatska norma HRN EN ISO 7779:2001
- [68] M. Horvat, A. Petošić, N. Krajačić, *Noise and Vibrations of a Circular Saw*, Proceedings of The 2nd Congress of Alps-Adria Acoustics Association, Opatija, 2005, str. 337-346.
- [69] M. Horvat, H. Domitrovic, M. Krhen, *The Examination of Noise and Vibrations Produced by a Test Facility for Wind Turbines*, Proceedings of EuroNoise2009, Edinburgh, 2009, 9 str.
- [70] B. Apsen, *Repetitorij više matematike – 2. dio*, Tehnička knjiga, Zagreb, 1964.
- [71] J. Blauert, *Communication Acoustics*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2005.
- [72] P. Susini, O. Houix, N. Misdariis, B. Smith, S. Langlois, *Instruction's effect on semantic scale ratings of interior car sounds*, *Applied Acoustics* **70** (2009), str. 389-403.
- [73] D.C. Montgomery, G.C. Runger, *Applied Statistics and Probability for Engineers*, John Wiley and Sons, New York, 2003.

Popis oznaka

A	-	frekvencijski ovisan korektivni parametar u Mooreovom i Glasbergovom modelu glasnoće
A_f	-	ukupna površina između krivulje normirane glasnoće i njezine najbolje aproksimacije pravcem
A_{Nrel}	-	ukupna površina koju linearna aproksimacija kolebanja glasnoće zatvara s vremenskom osi kao mjera ukupne količine kolebanja
A_{st}	-	gušenje uskopojasnog filtra – tonalna analiza
A_t	-	ukupna površina između krivulje normirane glasnoće i njezinog idealno linearnog pada
B	-	širina pojasa uskopojasnog filtra – tonalna analiza
BI_{ph}	-	indeks želje za kupnjom definiran za prazan hod
BI_{zs}	-	indeks želje za kupnjom definiran za zaustavljanje
C	-	kalibracijska konstanta
$c(t_n)$	-	zakrivljenost normirane glasnoće
D	-	dominantnost dominantne modulacijske komponente – analiza vremenske ovojnice
D_{150}	-	dominantnost dominantne modulacijske frekvencije f_{m150}
DI_{ph}	-	indeks ispravnosti definiran za prazan hod
DI_{zs}	-	indeks ispravnosti definiran za zaustavljanje
d_n	-	nagib spektralne ovojnice ispod prijelomne frekvencije f_n
E	-	linearna pobuda u nekom kritičnom/ERB pojasu
$E[n]$	-	vremenska ovojnica
E_0	-	referentna vrijednost pobude
ERB	-	širina ekvivalentnog pravokutnog pojasa
ERB_{pojas}	-	ljestvica ERB pojaseva
E_{TQ}	-	pobuda na pragu čujnosti
f	-	frekvencija
F	-	jačina kolebanja
F_{max}	-	frekvencijski položaj maksimuma specifične glasnoće (Bark ili ERB)
f_0	-	središnja frekvencija uskopojasnog filtra – tonalna analiza
F_0	-	početna vrijednost jačine kolebanja pri zaustavljanju
f_c	-	frekvencija diskretne tonske komponente ili središnja frekvencija uskopojasnog šuma

f_d	- najveći dopustivi frekvencijski razmak primarnog i sekundarnog tona – tonalna analiza
f_{hr}	- frekvencija tonske komponente s najvećom važnosti V – tonalna analiza
f_{m150}	- dominantna modulacijska frekvencija niža od 150 Hz
f_{mmax}	- frekvencija dominantne modulacijske komponente – analiza vremenske ovojnice
f_{mod}	- modulacijska frekvencija
f_n	- prijelomna frekvencija – spektralna ovojnica
f_p	- frekvencija primarnog tona – tonalna analiza
f_{pr}	- frekvencija najprominentnije tonske komponente – tonalna analiza
f_s	- frekvencija sekundarnog tona – tonalna analiza
f_T	- frekvencija tonske komponente koja najviše pridonosi tonalnosti – tonalna analiza
$f_{t/n}$	- frekvencija tonske komponente s najvećim odnosom ton/šum – tonalna analiza
f_{xhr}	- frekvencija čujne tonske komponente s najvećom važnosti V_x – tonalna analiza
G	- frekvencijski ovisno relativno pojačanje u pužnici u M&G modelu glasnoće
$G(z)$	- spektar snage – tonalna analiza
$g'(z)$	- težinska funkcija pri izračunu oštine
g_n	- nagib spektralne ovojnice iznad prijelomne frekvencije f_n
$G_n(z)$	- spektar snage šuma u signalu – tonalna analiza
I_0	- referentni zvučni intenzitet
K	- kalibracijska konstanta oštine
L_{CB}	- ukupna razina u kritičnom pojasu
L_e	- logaritamski omjer P_e/P_{f_0} – tonalna analiza
$L_{Ei}(f_j)$	- razina pobude koju komponente frekvencije f_i ima na mjestu komponente frekvencije f_j – tonalna analiza
$L_{Ej}(f_i)$	- razina pobude koju komponente frekvencije f_j ima na mjestu komponente frekvencije f_i – tonalna analiza
L_{ex}	- ostatna razina zvučnog tlaka tonske komponente – tonalna analiza
L_M	- prag maskiranja
L_m	- ukupan utjecaj maskiranja koji komponente frekvencija f_j imaju na komponentu frekvencije f_i – tonalna analiza
L_N	- razina glasnoće (fon)
L_{NCB}	- razina snage šuma u kritičnom pojasu – tonalna analiza
L_o	- logaritamski omjer P_o/P_{f_0} – tonalna analiza

L_{oe}	-	logaritamski omjer P_o / P_e – tonalna analiza
L_p	-	razina određene spektralne linije – tonalna analiza
L_{TH}	-	razina praga čujnosti – tonalna analiza
L_{xe}	-	logaritamski omjer P_o / P_{f0} za čujne tonske komponente – tonalna analiza
L_{xo}	-	logaritamski omjer P_o / P_{f0} za čujne tonske komponente – tonalna analiza
L_{xoe}	-	logaritamski omjer P_o / P_e za čujne tonske komponente – tonalna analiza
m_a	-	(procijenjeni) indeks amplitudne modulacije
m_{a150}	-	procijenjeni indeks modulacije u području frekvencija ispod 150 Hz
M_{mmax}	-	magnituda dominantne modulacijske komponente – analiza vremenske ovojnice
N	-	glasnoća
N'	-	specifična glasnoća
N_0	-	vrijednost glasnoće na početku zaustavljanja
N_{50}	-	medijan glasnoće
N_{max}'	-	najveća vrijednost specifične glasnoće
N_n	-	normirana glasnoća
N_n'	-	prva derivacija normirane glasnoće
N_n''	-	druga derivacija normirane glasnoće
$N_{nf}(t_n)$	-	linearna aproksimacija normirane glasnoće
N_{sr}'	-	srednja vrijednost specifične glasnoće
N_s	-	glasnoća šuma u ukupnom signalu – tonalna analiza
N_x	-	statistička vrijednost glasnoće premašena u x posto vremena
N_x'	-	vrijednosti specifične glasnoće premašene u x posto Bark/ERB točaka
$N_{x_{50}}$	-	razlika N_x i medijana glasnoće normirana na medijan kao mjera kolebanja glasnoće
p_i	-	koeficijenti polinomnih aproksimacija
P	-	ukupna snaga signala – analiza vremenske ovojnice
P_c	-	snaga nosioca – analiza vremenske ovojnice
P_e	-	snaga neparnih harmonika – tonalna analiza
P_{f0}	-	snaga osnovne frekvencije – tonalna analiza
P_m	-	snaga modulacijskih komponenata – analiza vremenske ovojnice
P_{NCB}	-	ukupna snaga šuma u kritičnom pojasu oko primarnog tona – tonalna analiza
P_o	-	snaga parnih harmonika – tonalna analiza
PR	-	prominentnost – tonalna analiza
P_{TCB}	-	snaga svih tonova u kritičnom pojasu – tonalna analiza

P_{TFD}	- snaga tonova unutar intervala određenog s f_d – tonalna analiza
QI_{ph}	- indeks kvalitete definiran za prazan hod
QI_{zs}	- indeks kvalitete definiran za zaustavljanje
R	- grubost
r	- Pearsonov koeficijent korelacije
R_0	- početna vrijednost grubosti pri zaustavljanju
R^2	- koeficijent determinacije
\bar{R}^2	- prilagođeni koeficijent determinacije
R_{mt}	- logaritmirani omjer P_m/P kao procjena dubine modulacije – analiza vremenske ovojnice
R_{mt150}	- logaritmirani omjer P_m/P kao procjena dubine modulacije za područje frekvencija ispod 150 Hz – analiza vremenske ovojnice
S	- oštrina
S_{a0}	- početna vrijednost oštrine pri zaustavljanju dobivena Auresovim modelom
S_d	- donji nagib pobude uzrokovane maskiranjem
S_g	- gornji nagib pobude uzrokovane maskiranjem
SI_{ph}	- indeks sigurnosti definiran za prazan hod
SI_{zs}	- indeks sigurnosti definiran za zaustavljanje
S_n	- trenutna glasnoća u M&G modelu glasnoće
S_n'	- kratkotrajna glasnoća u M&G modelu glasnoće
S_n''	- dugotrajna glasnoća u M&G modelu glasnoće
SPL	- razina zvučnog tlaka
S_z	- oštrina dobivena Zwickerovim modelom
T	- tonalnost
t	- vrijeme
T/N	- odnos ton/šum – tonalna analiza
th	- prag zadan pri pronalaženju relevantnih tonskih komponenata – tonalna analiza
t_n	- normirano vrijeme
t_{ni}	- vremenski položaj točke infleksije
T_s	- vrijeme zaustavljanja
UI_{ph}	- indeks neugode definiran za prazan hod
UI_{zs}	- indeks neugode definiran za zaustavljanje
V	- važnost komponente frekvencije f_{hr} – tonalna analiza
VI_{ph}	- indeks vrijednosti definiran za prazan hod

VI_{zs}	- indeks vrijednosti definiran za zaustavljanje
V_x	- važnost komponente frekvencije f_{xhr} – tonalna analiza
w_i	- težinski faktori tonskih komponenata – tonalna analiza
w_i'	- modificirani težinski faktori tonskih komponenata – tonalna analiza
w_ξ	- težinski faktor šuma – tonalna analiza
w_T	- ukupni težinski faktor svih čujnih tonskih komponenata – tonalna analiza
X	- općenita oznaka za osnovni parametar promatran pri zaustavljanju (oštrina, grubost, jačina kolebanja,...)
$x(t)$	- signal u vremenskoj domeni
$\tilde{x}(t)$	- analitički signal
$X[k]$	- spektar realnog signala
$\tilde{X}[k]$	- spektar analitičkog signala
$x[n]$	- realni diskretni signal
$\tilde{x}[n]$	- diskretni analitički signal
X_0	- općenita oznaka za početnu vrijednost osnovnog parametra promatranog pri zaustavljanju (oštrina, grubost, jačina kolebanja,...)
X_n	- općenita oznaka za normirani osnovni parametar promatran pri zaustavljanju (oštrina, grubost, jačina kolebanja,...)
z	- ljestvica kritičnih pojaseva (Bark)
z_{fc}	- odgovarajući Bark frekvencije f_c (vidi f_c)
α	- eksponent u Stevensovom zakonu
α_{al}	- konstanta izračunata iz procijenjenog vremena ulaženja uha pri izračunu dugotrajne glasnoće S_n''
α_{as}	- konstanta izračunata iz procijenjenog vremena ulaženja uha pri izračunu kratkotrajne glasnoće S_n'
α_{rs}	- konstanta izračunata iz procijenjenog vremena izlaženja uha pri izračunu kratkotrajne glasnoće S_n'
α_{rs}	- konstanta izračunata iz procijenjenog vremena izlaženja uha pri izračunu dugotrajne glasnoće S_n''
Δc	- raspon zakrivljenosti normirane glasnoće
ΔF_{fit}	- kolebanje frekvencijskog položaja maksimuma specifične glasnoće u odnosu na najbolju aproksimaciju tog položaja pravcem
Δf_G	- širina kritičnog pojasa
ΔF_{sr}	- kolebanje frekvencijskog položaja maksimuma specifične glasnoće u odnosu na usrednjenu vrijednost istog
ΔL	- percipirana dubina maskiranja
ΔN_{nrel}	- kolebanje glasnoće
$(\Delta N_{nrel})_x$	- vrijednosti kolebanja glasnoće premašene u x posto vremena

- Δz - pojasna širina tonske komponente – tonalna analiza
- μ - općenita oznaka za srednju vrijednost
- $\rho(t_n)$ - polumjer zakrivljenosti normirane glasnoće
- σ - općenita oznaka za standardnu devijaciju

Prilozi

- Prilog 1. MATLAB funkcije
- Prilog 2. skraćeni primjerak testa upotrijebljenog pri provedbi subjektivnih ispitivanja
- Prilog 3A. Matematički prilog – Pearsonova korelacija
- Prilog 3B. Matematički prilog – analiza varijance (ANOVA)
- Prilog 3C. Matematički prilog – Tukeyev test
- Prilog 3D. Matematički prilog – linearna regresija

```

function [Ttotal,N,Q]=tonalnaanaliza(y,Fs,fullscale)

% analiza tonalnosti i tonalnog sadržaja zvučnog signala

t = 1;
ypom=y;
y=y(Fs+1:2*Fs);
yrms=sqrt(mean(y.^2));
SPL=fullscale+20*log10(yrms)+10*log10(2);
N=loudness(y,Fs,SPL);
yc=y*10^(fullscale/20);
Yc = abs(fft(yc(1:t*Fs)));
Yone=2*Yc/(t*Fs);
Ypow = 2*Yone.^2;
YPow = Ypow(1:length(Ypow)/2);
YPOW = 10*log10(YPow);
f = (0:length(YPOW)-1)/t;
z = 13*atan(0.76.*f/1000)+3.5*atan(f/7500).^2;
df = 25+75*(1+1.4*(f/1000).^2).^0.69;
fd = 21*10.^(1.2.*abs(log10(f./212)).^1.8);
T=0; Ftonmax=0; Fhrmax=0; Vmax=0; Lomax=-200; Lemax=-200; Loemax=-200;
Fexhrmax=0; Vexmax=0; Lexomax=-200; Lexemax=-200; Lexoemax=-200;
Fprmax=0; PRmax=-200; Fttmax=0; TtNmax=-200;
Ttotal(1,1)=T;
Ttotal(1,2)=Ftonmax;
Ttotal(1,3)=Fhrmax;
Ttotal(1,4)=Vmax;
Ttotal(1,5)=Lomax;
Ttotal(1,6)=Lemax;
Ttotal(1,7)=Loemax;
Ttotal(1,8)=Fexhrmax;
Ttotal(1,9)=Vexmax;
Ttotal(1,10)=Lexomax;
Ttotal(1,11)=Lexemax;
Ttotal(1,12)=Lexoemax;
Ttotal(1,13)=Fprmax;
Ttotal(1,14)=PRmax;
Ttotal(1,15)=Fttmax;
Ttotal(1,16)=TtNmax;
[inx, srv]=spektusr(YPOW,t);
[TP,dif]=toneselect(YPOW,t,f,inx,srv);
[m,n]=size(TP);
if (m==0)&&(n==0)
    disp('U signalu nema znacajnih tonskih komponenata');
    return;
end
% izbacivanje svih izvornih tonskih komponenata iz spektra
% radi dobivanja glasnoće čistog suma
yfilt=ypom;
for i=1:n
    F0 = TP(1,i);
    BW = 2^(log10(F0)+0.5);
    Ast = dif(round(F0+1));
    d = fdesign.notch('N,F0,BW,Ast',6,F0/(Fs/2),BW/(Fs/2),Ast);
    Hd = design(d);
    yfilt = filter(Hd,yfilt);
end
yfilt=yfilt(Fs+1:2*Fs);
yfiltrms=sqrt(mean(yfilt.^2));
SPLN=SPL+20*log10(yfiltrms/yrms);
Ngr=loudness(yfilt,Fs,SPLN);
yfiltc=yfilt*10^(fullscale/20);
Yfiltc = abs(fft(yfiltc(1:t*Fs)));
Yfilttone=2*Yfiltc/(t*Fs);
Yfiltpow = 2*Yfilttone.^2;
YfiltPow = Yfiltpow(1:length(Yfiltpow)/2);
YfiltPOW = 10*log10(YfiltPow);
Q=tonecorrect(TP);
[m,n]=size(Q);
Q(3,1:n)=1;
Q(4,:)=13*atan(0.76.*Q(1,:)/1000)+3.5*atan(Q(1,:)/7500).^2;

[R,HCF,HCR,IMCF,IMCR,HREL]=harmIMcontent(Q);
Q=R;
[R,S]=prominence(Q,z,YPow);
Q=R;
[R,TtN]=tonetonoise(Q,z,YfiltPow);

```

```

Q=R;
[R,LXdB]=SPlexcess(Q,z,YfiltPow);
Q=R;
[T,Ftonmax]=Aurestonality(Q,Ngr,N);
% nova matrica Qex cujnih tonskih komponentata
[m,n]=size(Q);
p=1;
for i=1:n
    if Q(10,i)==0
        continue;
    else
        Qex(:,p)=Q(:,i);
        p=p+1;
    end
end
if p==1
    Qex=[];HCFex=[];HCRex=[];IMCFex=[];IMCRex=[];
else
    [Rex,HCFex,HCRex,IMCFex,IMCRex,HRELex]=harmIMcontent(Qex);
    Qex=Rex;
end
% pretraga matrice Q za komponentom s najvisim T/N, PR, najistaknutijim
% harmonickim sadrzajem
if sum(Q(5, :)~=0)
    [i,j]=find(Q(5,)==max(Q(5,)));
    [m,n]=size(j);
    if (m>1)||(n>1)
        [i,j]=find(Q(11,)==max(Q(11,j)));
    end
    Fhrmax=Q(1,j); Vmax=Q(5,j);
    Lomax=Q(6,j); Lemax=Q(7,j);
end
x=(Lomax==--200)||(Lemax==--200);
if ~x
    Loemax=Lomax-Lemax;
end
[i,j]=find(Q(8,)==max(Q(8,)));
Fprmax=Q(1,j); PRmax=Q(8,j);
[i,j]=find(Q(9,)==max(Q(9,)));
Fttmax=Q(1,j); TtNmax=Q(9,j);
% pretraga matrice Qex za cujnom tonskom komponentom s najistaknutijim
% harmonickim sadrzajem
if isempty(Qex)
    Vexmax=0;
    Fexhrmax=0;
    Lexomax=-200;
    Lexemax=-200;
elseif (~isempty(Qex)) && (sum(Qex(5,))==0)
    Vexmax=0;
    Fexhrmax=0;
    Lexomax=-200;
    Lexemax=-200;
elseif (~isempty(Qex)) && (sum(Qex(5,))~=0)
    [i,j]=find(Qex(5,)==max(Qex(5,)));
    [m,n]=size(j);
    if (m>1)||(n>1)
        [i,j]=find(Qex(11,)==max(Qex(11,j)));
    end
    Vexmax=Qex(5,j);
    Fexhrmax=Qex(1,j);
    Lexomax=Qex(6,j);
    Lexemax=Qex(7,j);
end
if (Lexomax==--200) && (Lexemax==--200)
    Lexoemax=Lexomax-Lexemax;
else
    Lexoemax=-200;
end
Ttotal(1,1)=T;
Ttotal(1,2)=Ftonmax;
Ttotal(1,3)=Fhrmax;
Ttotal(1,4)=Vmax;
Ttotal(1,5)=Lomax;
Ttotal(1,6)=Lemax;
Ttotal(1,7)=Loemax;
Ttotal(1,8)=Fexhrmax;
Ttotal(1,9)=Vexmax;

```

```
Ttotal(1,10)=Lexomax;  
Ttotal(1,11)=Lexemax;  
Ttotal(1,12)=Lexoemax;  
Ttotal(1,13)=Fprmax;  
Ttotal(1,14)=PRmax;  
Ttotal(1,15)=Fttnmax;  
Ttotal(1,16)=TtNmax;
```

```
function [inx, srv]=spektusr(YPOW, T)
```

```
% usrednjavanje spektra snage
```

```
BK=300;  
korak=round(length(YPOW)/BK/2);  
for i=1:BK  
    inx(i)=(2*i-1)*korak/T;  
    low=round(0.5*inx(i)*T);  
    if low<1  
        low=1;  
    end  
    high=round(1.5*inx(i)*T);  
    if high>length(YPOW)  
        high=length(YPOW);  
    end  
    srv(i)=mean(YPOW(low:high));  
end
```

```
function [TP, dif]=toneselect(YPOW, T, f, inx, srv)
```

```
% odabir značajnih tonskih komponenata
```

```
% promjenjivi prag koji se smijenja s logaritmom frekvencije  
T1=[25 11];  
T2=[20000 18];  
A=(T2(2)-T1(2))/log10(T2(1)/T1(1));  
B=-A*log10(T1(1))+T1(2);  
prag=A.*log10(f+1)+B;  
TP=[];  
j=1;k=1;  
for i = 25*T:20000*T  
    if f(i)<=inx(1)  
        srvi(i)=0;  
        dif(i)=0;  
        continue;  
    end  
    if f(i)>inx(j+1)  
        j=j+1;  
    end  
    srvi(i)=(srv(j+1)-srv(j))/(inx(j+1)-inx(j))*(f(i)-inx(j))+srv(j);  
    dif(i)=YPOW(i)-srvi(i);  
    if (dif(i)>prag(i)) && (YPOW(i)>YPOW(i-1)) && (YPOW(i)>YPOW(i+1))  
        TP(1,k)=f(i);  
        TP(2,k)=YPOW(i);  
        k=k+1;  
    end  
end
```

```
function [Q]=tonecorrect(TP)
```

```
% uklanjanje viška frekvencijskih komponenata vrlo bliskih frekvencija
```

```
[m,n]=size(TP);  
p=1;  
for i=1:n  
    j=i;k=i;  
    while (TP(1,j)>0.992*TP(1,i)) || (TP(1,j)>TP(1,i)-3)  
        j=j-1;  
        if j<1  
            break;  
        end  
    end  
end
```

```

while (TP(1,k)<1.008*TP(1,i)) || (TP(1,k)<TP(1,i)+3)
    k=k+1;
    if k>n
        break;
    end
end
end
M(1,i)=TP(1,i);
M(2,i)=max(TP(2,j+1:k-1));
suma(i)=10*log10(sum(10.^(TP(2,j+1:k-1))/10));

if TP(2,i)==M(2,i)
    Q(1,p)=M(1,i);
    Q(2,p)=suma(i);
    p=p+1;
end
end
end

function [Q,HCF,HCR,IMCF,IMCR,HREL]=harmIMcontent(R)

% potraga za harmoničkim i intermodulacijskim sadržajem
% i odnosima medju pronadenim tonskim komponentama

[m,n]=size(R);
Q=R;
p=2;
bh=25;
HCF=zeros(bh,n);
HCR=zeros(bh,n)-200;
HCF(:,1)=1:bh;
HCR(:,1)=1:bh;

% harmonički sadržaj
for i=1:n
    if R(1,i)==0;
        continue;
    else
        HCF(1,p)=R(1,i);
        HCR(1,p)=R(2,i);
        for j=2:bh
            for k=i:n
                if ((R(1,k)>0.997*j*HCF(1,p)) || (R(1,k)>j*HCF(1,p)-
3)) && ((R(1,k)<1.003*j*HCF(1,p)) || (R(1,k)<j*HCF(1,p)+3))
                    HCF(j,p)=R(1,k);
                    HCR(j,p)=R(2,k);
                    if j<10
                        R(:,k)=0;
                    end
                    Q(3,k)=2;
                end
            end
        end
        if sum(HCF(2:bh,p))~=0
            Q(3,i)=1;
            p=p+1;
        end
    end
end
HCF=HCF(:,1:p-1);

% neharmonički (intermodulacijski) sadržaj
[m,n]=size(Q);
R=Q;
p=2;
IMCF=zeros(11,n);
IMCR=zeros(11,n);
IMCF(:,1)=[1 2 -5 -4 -3 -2 0 2 3 4 5];
IMCR(:,1)=[1 2 -5 -4 -3 -2 0 2 3 4 5];
for i=1:n
    if (R(3,i)==2) || (R(1,i)>600)
        continue;
    end
    q=i;
    while (R(1,q)<=15*R(1,i))
        q=q+1;
        if q>n
            break;
        end
    end
end

```

```

        end
    end
    for j=q:n
        s=j;t=j;
        while (R(1,s)>R(1,j)-4.05*R(1,i))
            s=s-1;
            if s<1
                break;
            end
        end
        while (R(1,t)<R(1,j)+4.05*R(1,i))
            t=t+1;
            if t>n
                break;
            end
        end
        if (R(2,j)~=max(R(2,s+1:t-1))) || (s+1==t-1)
            continue;
        end
        IMCF(1,p)=R(1,i);
        IMCR(1,p)=R(2,i);
        IMCF(2,p)=R(1,j);
        IMCR(2,p)=R(2,j);
        for k=s+1:t-1
            for d=-4:4
                if
(R(1,k)>0.9985*(IMCF(2,p)+d*IMCF(1,p))) && (R(1,k)<1.0015*(IMCF(2,p)+d*IMCF(1,p)))
                    IMCF(d+7,p)=R(1,k);
                    IMCR(d+7,p)=R(2,k);
                end
                if R(1,k)~=IMCF(2,p)
                    Q(3,k)=3;
                end
            end
        end
    end
    p=p+1;
end
IMCF=IMCF(:,1:p-1);
IMCR=IMCR(:,1:p-1);

% korekcija harmoničkog sadržaja u ovisnosti o intermodulacijskom sadržaju
[m,n]=size(IMCF);
for j=2:n
    for i=3:m
        if (IMCF(i,j)==0) || (i==7)
            continue;
        else
            [k,l]=find(HCF==IMCF(i,j));
            if size(k)==[1 0]
                continue;
            else
                for p=1:size(k)
                    HCF(k(p),l(p))=0;
                    HCR(k(p),l(p))=-200;
                end
            end
        end
    end
end
end
[m,n]=size(HCF);
p=2;
pomF(:,1)=HCF(:,1);
pomR(:,1)=HCR(:,1);
for i=2:n
    if sum(HCF(2:m,i))~=0
        pomF(:,p)=HCF(:,i);
        pomR(:,p)=HCR(:,i);
        p=p+1;
    else
        continue;
    end
end
end
HCR=pomR; HCF=pomF;
[m,n]=size(HCF);
Podd=zeros(1,n);
Peven=zeros(1,n);

```

```

Pf0=zeros(1,n);
PodddB(1:n)=-Inf;
PevendB(1:n)=-Inf;
Ptot=zeros(1,n);
PtotdB(1:n)=-Inf;
for j=2:n
    for i=2:2:24
        Podd(j)=Podd(j)+10^(HCR(i+1,j)/10);
        Peven(j)=Peven(j)+10^(HCR(i,j)/10);
    end
    for i=2:25
        Ptot(j)=Ptot(j)+10^(HCR(i,j)/10);
    end
    if Podd(j)>0
        PodddB(j)=10*log10(Podd(j));
    end
    if Peven(j)>0
        PevendB(j)=10*log10(Peven(j));
    end
    if Ptot(j)>0
        PtotdB(j)=10*log10(Ptot(j));
    end
    Pf0(j)=10^(HCR(1,j)/10);
end

% ocjena važnosti pojedinih tonskih komponenata ovisno o broju
% pronađenih harmonika i njihovim rednim brojevima
[m,n]=size(HCF);
HREL=zeros(4,n-1);
p=1;
for j=2:n
    suma=0;
    broj=0;
    for i=2:m
        if HCF(i,j)~=0
            suma=suma+(m-i+1)^2;
            broj=broj+1;
        end
    end
    if suma~=0;
        HREL(1,p)=HCF(1,j);
        HREL(2,p)=suma*broj;
        p=p+1;
    end
end
HREL(3,:)=PodddB(2:n)-10*log10(Pf0(2:n));
HREL(4,:)=PevendB(2:n)-10*log10(Pf0(2:n));
HREL(5,:)=PtotdB(2:n);
% prepisivanje podataka o harmoničkom sadržaju u matricu Q

[m,n]=size(Q);
Q(5,:)=zeros(1,n);
Q(6,:)=zeros(1,n)-200;
Q(7,:)=zeros(1,n)-200;
Q(11,:)=zeros(1,n)-200;
for i=1:n
    [j,k]=find(HREL==Q(1,i));
    if size(j)==[0 1]
        continue;
    else
        Q(5,i)=HREL(2,k);
        Q(6,i)=HREL(3,k);
        if Q(6,i)<=-200
            Q(6,i)=-200;
        end
        Q(7,i)=HREL(4,k);
        if Q(7,i)<=-200
            Q(7,i)=-200;
        end
        Q(11,i)=HREL(5,k);
        if Q(11,i)<=-200
            Q(11,i)=-200;
        end
    end
end
end
[i,j]=find(HCF(1,:)==0);
HCF(:,j)=[];

```



```

HCR(:,j)=[];
HREL(:,j-1)=[];
if size(HCF)==[25 1]
    HCF=[];HCR=[];
end
if size(IMCF)==[11 1]
    IMCF=[];IMCR=[];
end

function [Q,S]=prominence(R,z,YPow)

% prominentnost

[m,n]=size(R);
Q=R;
p=1;
while nnz(R)>0
    [A,b]=max(R(2,:));
    F=R(1,b);
    zF=R(4,b);
    zd=zF-0.5; zg=zF+0.5; zdd=zF-1.5; zgg=zF+1.5;
    if zd<min(z)
        zd=min(z);
    end
    if zg>max(z)
        zg=max(z);
    end
    if zdd<min(z)
        zdd=min(z);
    end
    if zgg>max(z)
        zgg=max(z);
    end
    suma=0;
    d=b;g=b;
    while (R(4,d)>=zd)
        d=d-1;
        if d<1
            break;
        end
    end
    while (R(4,g)<=zg)
        g=g+1;
        if g>n
            break;
        end
    end
    d=d+1;
    g=g-1;
    S(1,p)=F;
    S(2,p)=10*log10(sum(10.^(R(2,d:g)/10)));
    S(3,p)=0;
    S(4,p)=zF;
    [y,j]=min(abs(z-zd));
    [y,k]=min(abs(z-zg));
    [y,l]=min(abs(z-zdd));
    [y,m]=min(abs(z-zgg));
    Pd=sum(YPow(1:j));
    if l==j
        Pd=0;
    end
    Pg=sum(YPow(k:m));
    if k==m
        Pg=0;
    end
    Pt=sum(YPow(j:k));
    S(5,p)=10*log10(2*Pt/(Pd+Pg));
    R(:,d:g)=0;
    p=p+1;
end

% prepisivanje podataka o prominentnosti u matricu Q
[m,n]=size(Q);
Q(8,:)=zeros(1,n)-200;
for i=1:n
    [j,k]=find(S==Q(1,i));

```

```

    if size(j)==[0 1]
        continue;
    else
        Q(8,i)=S(5,k);
    end
end

function [Q,TtN]=tonetonoise(R,z,YPow)

% odnos ton/šum

[m,n]=size(R);
Q=R;
p=1;
while nnz(R)>0
    [A,b]=max(R(2,:));
    F=R(1,b);
    zF=R(4,b);
    zd=zF-0.5; zg=zF+0.5;
    if zd<min(z)
        zd=min(z);
    end
    if zg>max(z)
        zg=max(z);
    end
    Pn=0; PTs=0; PT=0;
    [y,j]=min(abs(z-zd));
    [y,k]=min(abs(z-zg));
    Pn=sum(YPow(j:k));
    TtN(1,p)=F;
    ds=b;gs=b;
    while (Q(4,ds)>=zd)
        ds=ds-1;
        if ds<1
            break;
        end
    end
    while (Q(4,gs)<=zg)
        gs=gs+1;
        if gs>n
            break;
        end
    end
    ds=ds+1;
    gs=gs-1;
    PTs=sum(10.^(Q(2,ds:gs)/10));
    if ((F>88)&&(F<1000))
        Fd=21*10^(1.2*abs(log10(F/212))^1.8);
        dz=b; gz=b;
        while (Q(1,dz)>=(F-Fd))
            dz=dz-1;
            if dz<1
                break;
            end
        end
        while (Q(1,gz)<=(F+Fd))
            gz=gz+1;
            if gz>n
                break;
            end
        end
        dz=dz+1;
        gz=gz-1;
        PT=sum(10.^(Q(2,dz:gz)/10));
        R(:,dz:gz)=0;
    else
        PT=PTs;
        R(:,ds:gs)=0;
    end
    TtN(2,p)=10*log10(PT);
    TtN(3,p)=0;
    TtN(4,p)=zF;
    TtN(5,p)=10*log10(PT/Pn);
    p=p+1;
end

```

```

% prepisivanje podataka o odnosu ton/šum u matricu Q
[m,n]=size(Q);
Q(9,:)=zeros(1,n)-200;
for i=1:n
    [j,k]=find(TtN==Q(1,i));
    if size(j)==[0 1]
        continue;
    else
        Q(9,i)=TtN(5,k);
    end
end

function [Q,LXdB]=SPLexcess(R,z,YfiltPow)

% utvrđivanje čujnosti tonских komponenti

[m,n]=size(R);
Q=R;
for i=1:n
    F=R(1,i);
    A=R(2,i);
    zF=R(4,i);
    LTH(i)=3.64*(F/1000)^(-0.8)-6.5*exp(-0.6*((F/1000)-3.3)^2)+0.001*(F/1000)^4;
    zd=zF-0.5; zg=zF+0.5;
    if zd<min(z)
        zd=min(z);
    end
    if zg>max(z)
        zg=max(z);
    end
    [y,j]=min(abs(z-zd));
    [y,k]=min(abs(z-zg));
    In(i)=sum(YfiltPow(j:k));
    Lmask(i)=0;
    for j=1:n
        LdBji=0; LdBij=0;
        FM=Q(1,j);
        zM=Q(4,j);
        AM=Q(2,j);
        if zM<zF
            LdBji=AM-(24+230/FM-0.2*AM)*(zF-zM);
            LdBij=A-27*(zF-zM);
        elseif zM==zF
            LdBji=-200;
            LdBij=-200;
        else
            LdBji=AM-27*(zM-zF);
            LdBij=A-(24+230/F-0.2*A)*(zM-zF);
        end
        if LdBij>=AM
            continue;
        else
            Lmask(i)=Lmask(i)+10^(LdBji/20);
        end
    end
end
end
for i=1:n
    LXdB(i)=Q(2,i)-10*log10((Lmask(i))^2+In(i)+10^(LTH(i)/10));
    if LXdB(i)>0
        Q(10,i)=LXdB(i);
    else
        Q(10,i)=0;
        LXdB(i)=0;
    end
end
end

function [T,Fcmax]=Aurestonality(Q,Ngr,N)

% izračun ukupne tonalnosti

[m,n]=size(Q);
if sum(Q(10,:))==0
    T=0;
    Fcmax=0;
else

```

```

p=1;
cmax=0;
Fcmax=0;
for i=1:n
if Q(10,i)<=0
continue;
end
F=Q(1,i);
dL=Q(10,i);
w1(p)=1; w1c(p)=(w1(p))^(1/0.29);
w2(p)=(1+0.2*(F/700+700/F)^2)^(-0.29/2); w2c(p)=(w2(p))^(1/0.29);
w3(p)=(1-exp(-dL/15))^0.29; w3c(p)=(w3(p))^(1/0.29);
wc(p)=w1c(p)*w2c(p)*w3c(p);
if wc(p)>cmax
cmax=wc(p);
Fcmax=F;
end
p=p+1;
end
wT=sqrt(sum(wc.^2));
wGr=1-Ngr/N;
T=1.1041*wT^0.29*wGr^0.79;
end

```

```
function[par]=vremovojnica(yr,J)
```

```
% analiza vremenske ovojnice signala
```

```

if nargin<2
J=20;
end
par=zeros(1,8);
Fs=44100;
N=length(yr);
i=1:N;
Nfft=N;
df=Fs/Nfft;
M=round(Nfft/2);
F=(0:M-1)*df;
i=i';
YR=1/Nfft*abs(fft(yr,Nfft));
YR=2*YR(1:M);
YR=YR.^2;
Puk=sum(YR);
yranal=hilbert(yr);
yrovoj=abs(yranal);
YRovoj=1/Nfft*abs(fft(yrovoj,Nfft));
YRovoj=YRovoj(1:M);
YRovoj=2*YRovoj.^2;
YRovoj(1:round(5/df))=0;
YRmean=mean(YRovoj);
YRsum=sum(YRovoj);
[YRsort,I]=sort(YRovoj);
n=length(YRsort);
j=1;
while (YRsort(n)>max(YRovoj)*0.05)&&(j<J+1)
i=I(n);
if (YRovoj(i)>YRovoj(i-1))&&(YRovoj(i)>YRovoj(i+1))
Fmod(j)=(i-1)*df;
Fmodi(j)=i;
Rmod(j)=YRovoj(i);
j=j+1;
end
n=n-1;
end
[Fmod,I]=sort(Fmod);
for i=1:numel(Fmod)
R(i)=Rmod(I(i));
end
Rmod=R;
Pmod150=0;
M=0;
Fmod150=0;

```

```
for i=1:length(Fmod)
    if Fmod(i)>150
        continue;
    else
        Pmod150=Pmod150+Rmod(i);
        if Rmod(i)>M
            M=Rmod(i);
            Fmod150=Fmod(i);
        end
    end
end
Rmt150=Pmod150/Puk;
if Pmod150==0
    RmtdB150=-200;
else
    RmtdB150=10*log10(Rmt150);
end
par(5)=RmtdB150;
ma150=sqrt(2*Rmt150/(1-Rmt150));
par(6)=ma150;
par(7)=Fmod150;
if M==0;
    dom150=0;
else
    dom150=M/Pmod150;
end
par(8)=dom150;
Pmod=sum(Rmod);
Rmt=Pmod/Puk;
RmtdB=10*log10(Rmt);
par(1)=RmtdB;
ma=sqrt(2*Rmt/(1-Rmt));
par(2)=ma;
[M,i]=max(Rmod);
PFmod=Fmod(i);
par(3)=PFmod;
dom=max(Rmod)/sum(Rmod);
par(4)=dom;
```

```
function [Nstat]=statldsp(ldsp)
```

```
% analiza spektrograma glasnoće pri zaustavljanju
```

```
[m,n]=size(ldsp);
t=ldsp(:,1);
sg=ldsp(:,2:n);
N=sum(sg')/10;
k=m;
while N(k)<0.2
    k=k-1;
end
t=t(1:k);
sg=sg(1:k,:);
N=N(1:k);
Nstat=zeros(1,38);
tn=t/max(t);
[M,j]=max(sg');
j=j/10;
pM=polyfit(tn,j',1);
jfit=pM(1)*tn+pM(2);
Nstat(33:34)=pM;
kl=25;
for i=1:k
    low=i-kl;
    if low<1
        low=1;
    end
    high=i+kl;
    if high>k
        high=k;
    end
    jusr(i)=sum(j(low:high))/(high-low+1);
end
jerr=abs(j-jusr);
jerrapx=abs(j-jfit');
Pjerr=polyfit(tn,jerr',1);
```

```
jerrfit=Pjerr(1)*tn+Pjerr(2);
Nstat(35:36)=Pjerr;
Pjerrapx=polyfit(tn,jerrapx',1);
jerrapxfit=Pjerrapx(1)*tn+Pjerrapx(2);
Nstat(37:38)=Pjerrapx;
for i=1:k
    P(i,:)=percentile(sg(i,:));
    srvr(i)=mean(sg(i,:));
end
R1m=P(:,1)./P(:,5);
R5m=P(:,2)./P(:,5);
R10m=P(:,3)./P(:,5);
R25m=P(:,4)./P(:,5);
Rxm=M'./P(:,5);
plm=polyfit(tn,R1m,1);
p5m=polyfit(tn,R5m,1);
p10m=polyfit(tn,R10m,1);
p25m=polyfit(tn,R25m,1);
pxm=polyfit(tn,Rxm,1);
Nstat(1:2)=plm;
Nstat(3:4)=p5m;
Nstat(5:6)=p10m;
Nstat(7:8)=p25m;
R1mfit=plm(1)*tn+plm(2);
R5mfit=p5m(1)*tn+p5m(2);
R10mfit=p10m(1)*tn+p10m(2);
R25mfit=p25m(1)*tn+p25m(2);
Rxmfit=pxm(1)*tn+pxm(2);
R1t=P(:,1)./N'*100;
R5t=P(:,2)./N'*100;
R10t=P(:,3)./N'*100;
R25t=P(:,4)./N'*100;
R50t=P(:,5)./N'*100;
Rsrt=srvr'./N'*100;
Rxt=M'./N'*100;
plt=polyfit(tn,R1t,1);
p5t=polyfit(tn,R5t,1);
p10t=polyfit(tn,R10t,1);
p25t=polyfit(tn,R25t,1);
p50t=polyfit(tn,R50t,1);
psrt=polyfit(tn,Rsrt,1);
pxt=polyfit(tn,Rxt,1);
Nstat(9:10)=plt;
Nstat(11:12)=p5t;
Nstat(13:14)=p10t;
Nstat(15:16)=p25t;
Nstat(17:18)=p50t;
Nstat(19:20)=psrt;
R1tfit=plt(1)*tn+plt(2);
R5tfit=p5t(1)*tn+p5t(2);
R10tfit=p10t(1)*tn+p10t(2);
R25tfit=p25t(1)*tn+p25t(2);
R50tfit=p50t(1)*tn+p50t(2);
Rsrtfit=psrt(1)*tn+psrt(2);
Rxtfit=pxt(1)*tn+pxt(2);
R1sr=P(:,1)./srvr';
R5sr=P(:,2)./srvr';
R10sr=P(:,3)./srvr';
R25sr=P(:,4)./srvr';
R50sr=P(:,5)./srvr';
Rxsr=M'./srvr';
p1sr=polyfit(tn,R1sr,1);
p5sr=polyfit(tn,R5sr,1);
p10sr=polyfit(tn,R10sr,1);
p25sr=polyfit(tn,R25sr,1);
p50sr=polyfit(tn,R50sr,1);
pxsr=polyfit(tn,Rxsr,1);
Nstat(21:22)=p1sr;
Nstat(23:24)=p5sr;
Nstat(25:26)=p10sr;
Nstat(27:28)=p25sr;
Nstat(29:30)=p50sr;
R1srfit=p1sr(1)*tn+p1sr(2);
R5srfit=p5sr(1)*tn+p5sr(2);
R10srfit=p10sr(1)*tn+p10sr(2);
R25srfit=p25sr(1)*tn+p25sr(2);
```

```

R50srfit=p50sr(1)*tn+p50sr(2);
Rxsrfit=pxsr(1)*tn+pxsr(2);
for i=1:k
    low=i-k1;
    if low<1
        low=1;
    end
    high=i+k1;
    if high>k
        high=k;
    end
    R1musr(i)=sum(R1m(low:high))/(high-low+1);
    R5musr(i)=sum(R5m(low:high))/(high-low+1);
    R10musr(i)=sum(R10m(low:high))/(high-low+1);
    R25musr(i)=sum(R25m(low:high))/(high-low+1);
    Rxmusr(i)=sum(Rxm(low:high))/(high-low+1);
end
for i=1:k
    low=i-k1;
    if low<1
        low=1;
    end
    high=i+k1;
    if high>k
        high=k;
    end
    R1tusr(i)=sum(R1t(low:high))/(high-low+1);
    R5tusr(i)=sum(R5t(low:high))/(high-low+1);
    R10tusr(i)=sum(R10t(low:high))/(high-low+1);
    R25tusr(i)=sum(R25t(low:high))/(high-low+1);
    R50tusr(i)=sum(R50t(low:high))/(high-low+1);
    Rsrtusr(i)=sum(Rsrt(low:high))/(high-low+1);
    Rxtusr(i)=sum(Rxt(low:high))/(high-low+1);
end
for i=1:k
    low=i-k1;
    if low<1
        low=1;
    end
    high=i+k1;
    if high>k
        high=k;
    end
    R1srusr(i)=sum(R1sr(low:high))/(high-low+1);
    R5srusr(i)=sum(R5sr(low:high))/(high-low+1);
    R10srusr(i)=sum(R10sr(low:high))/(high-low+1);
    R25srusr(i)=sum(R25sr(low:high))/(high-low+1);
    R50srusr(i)=sum(R50sr(low:high))/(high-low+1);
    Rxsrusr(i)=sum(Rxsr(low:high))/(high-low+1);
end

function[pN,ti,normfitlin, normtruelin,pNflc,Aflc,PC]=glasnoća(loud);

% analiza ukupne glasnoće pri zaustavljanju

[m,n]=size(loud);
t=loud(:,1);
N=loud(:,2);
tn=t/max(t);
k1=25;
for i=1:m
    low=i-k1;
    if low<1
        low=1;
    end
    high=i+k1;
    if high>m
        high=m;
    end
    Nusr(i)=sum(N(low:high))/(high-low+1);
end
Nn=Nusr/Nusr(1);
Nnorm=N/Nusr(1);
pN=polyfit(tn,Nn',3);
Nfit=pN(1)*tn.^3+pN(2)*tn.^2+pN(3)*tn+pN(4);

```

```

pNlin=polyfit(tn,Nn',1);
Nfitlin=pNlin(1)*tn+pNlin(2);
normfitlin=sum(abs(Nfitlin'-Nn))/(length(Nn)-1);
Ntruelin=(Nn(length(Nn))-1)*tn+1;
normtruelin=sum(abs(Ntruelin'-Nn))/(length(Nn)-1);
for i=1:m-1
    dNn(i)=(Nn(i+1)-Nn(i))/(tn(i+1)-tn(i));
end
dNn(m)=dNn(m-1);
k2=50;
for i=1:m
    low=i-k2;
    if low<1
        low=1;
    end
    high=i+k2;
    if high>m
        high=m;
    end
    dNnusr(i)=sum(dNn(low:high))/(high-low+1);
end
for i=1:m-1
    d2Nn(i)=(dNn(i+1)-dNn(i))/(tn(i+1)-tn(i));
end
d2Nn(m)=d2Nn(m-1);
k3=0;
for i=1:m
    low=i-k3;
    if low<1
        low=1;
    end
    high=i+k3;
    if high>m
        high=m;
    end
    d2Nnusr(i)=sum(d2Nn(low:high))/(high-low+1);
end
Nerr=abs(Nn'-Nfit)/Nn'*100;
Nflc=abs(Nn'-Nnorm)/Nn'*100;
Aerr=sum(Nerr)/(length(t)-1);
Aflc=sum(Nflc)/(length(t)-1);
PC=percentile(Nflc);
pNerr=polyfit(tn,Nerr,1);
pNflc=polyfit(tn,Nflc,1);
Nerrfit=pNerr(1)*tn+pNerr(2);
Nflcfit=pNflc(1)*tn+pNflc(2);
k4=25;
for i=1:m
    low=i-k4;
    if low<1
        low=1;
    end
    high=i+k4;
    if high>m
        high=m;
    end
    Nerrusr(i)=sum(Nerr(low:high))/(high-low+1);
end
der1=3*pN(1)*tn.^2+2*pN(2)*tn+pN(3);
der2=6*pN(1)*tn+2*pN(2);
zakr=(6*pN(1)*tn+2*pN(2))./(3*pN(1)*tn.^2+2*pN(2)*tn+pN(3)).^2+1).^^(3/2);
ti=-pN(2)/3/pN(1);
Nfitti=pN(1)*ti^3+pN(2)*ti^2+pN(3)*ti+pN(4);
der1ti=3*pN(1)*ti^2+2*pN(2)*ti+pN(3);
der2ti=6*pN(1)*ti+2*pN(2);
zakrti=0;

```


FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA
ZAVOD ZA ELEKTROAKUSTIKU

Ispitivanje kvalitete zvuka ručnog električnog alata

U okviru doktorske disertacije autora Marka Horvata provodi se istraživanje vezano uz **ocjenu kvalitete zvuka ručnog električnog alata**, pri čemu pojam kvalitete zvuka označava prije svega prihvatljivost nekog proizvoda sa stajališta korisnika s obzirom na zvuk koji taj proizvod emitira pri radu.

Jedan dio istraživanja odnosi se na utvrđivanje načina na koji korisnici formiraju svoje mišljenje o kvaliteti zvuka određenog proizvoda. Vaše sudjelovanje u ovom ispitivanju dragocjeni je dio istraživanja jer nam omogućava uvid u način na koji korisnik određenog proizvoda doživljava njegov zvuk.

Ispitivanje je anonimno! Vaši osobni podaci neće ni na koji način biti vidljivi u rezultatima ispitivanja.

Ukoliko imate bilo kakvih problema pri ispunjavanju upitnika, molimo Vas da se obratite voditelju ispitivanja.

Ispitivani proizvod: _____ **Uređaj**

Datum ispitivanja: _____

Podaci o ispitaniku

• **Spol** M Ž

• **Dob** _____

• **Koristite li ovu vrstu proizvoda u poslovnom/privatnom životu i koliko često?**

DA, nekoliko puta tjedno DA, manje od jednom godišnje

DA, nekoliko puta mjesečno NE, nikada

DA, nekoliko puta godišnje

• **Poznajete li zvuk koji pri radu emitira ova vrsta proizvoda?**

DA, dobro DA, slabo NE

Način rješavanja testa

Za svaki snimljeni uzorak zvuka stroja potrebno je ispuniti obrazac koji se sastoji od niza pridjeva kojima se mogu opisati karakteristike i ljudski doživljaj nekog zvuka te percepcija svojstava stroja temeljena samo na slušanju njegovog zvuka. Vaš zadatak je **ocijeniti svojstva zvuka** koji ćete čuti **onako kako ih doživljavate**. Svaki uzorak bit će prezentiran samo jednom, a obrazac možete ispunjavati za vrijeme trajanja uzorka i u stanci prije prezentiranja slijedećeg uzorka. U testu nema točnih i netočnih odgovora!

Primjer jednog pridjeva iz testa pokazan je ispod.

glasan nimalo **izrazito**

Ljestvica ocjena prikazana je kvadratićima na slici i proteže se između dvije krajnosti:

- **nimalo** - smatrate da uzorak zvuka koji ocjenjujete uopće nema ovo svojstvo
- **izrazito** - smatrate da uzorak zvuka koji ocjenjujete ima ovo svojstvo u vrlo velikoj mjeri

Pri ocjenjivanju svojstava samog stroja ocjene dajete između dvije krajnosti označene pridjevima suprotnog značenja.

robustan **krhak**

Ocjenu svakog parametra dajete označavanjem odgovarajućeg kvadratića koji predstavlja **Vašu ocjenu** pojedinog svojstva zvuka (ili stroja).

Primjer davanja ocjene:

glasan nimalo **izrazito**

Stavljanjem oznake na način pokazan gore ocijenili ste uzorak zvuka vrlo glasnim.

robustan **krhak**

Stavljanjem oznake na način pokazan gore ocijenili ste stroj razmjerno robustnim.

Ako imate bilo kakvih dodatnih pitanja u vezi načina rješavanja testa, molimo, obratite se voditelju ispitivanja!

Probni uzorak

1. Kako biste opisali zvuk ovog stroja?

glasn	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
oštar	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
hrapav	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
stabilan	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
čist	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
drhtav	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
prigušen	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
pucketajući	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
šuštav	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
jasan	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
zujav	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
grub	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
zavijajući	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
zviždeći	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
<hr/>	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
<hr/>	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
<hr/>	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
<hr/>	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
<hr/>	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito

2. Kako doživljavate zvuk ovog stroja?

neugodan	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
lijep	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
zastrašujuć	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
moćan	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
uzbunjujuć	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
privlačan	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
monoton	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
odbojan	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
napet	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito

3. Kako biste ocijenili svojstva sâmog stroja?

opasan	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	siguran
robustan	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	krhak
jeftin	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	skup
snažan	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	slab
kvalitetan	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nekvalitetan
neispravan	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ispravan

4. Biste li kupili ovaj stroj?

DA NE

Uzorak 1, 2, ..., N: prazan hod, opterećenje, zaustavljanje

1. Kako biste opisali zvuk ovog stroja?

glasn	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
oštar	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
hrapav	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
stabilan	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
čist	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
drhtav	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
prigušen	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
pucketajući	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
šuštav	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
jasan	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
zujav	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
grub	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
zavijajući	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
zviždeći	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
<hr/>	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
<hr/>	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
<hr/>	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
<hr/>	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito

2. Kako doživljavate zvuk ovog stroja?

neugodan	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
lijep	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
zastrašujuć	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
moćan	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
uzbunjujuć	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
privlačan	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
monoton	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
odbojan	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito
napet	nimalo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	izrazito

3. Kako biste ocijenili svojstva sâmog stroja?

opasan	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	siguran
robustan	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	krhak
jeftin	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	skup
snažan	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	slab
kvalitetan	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	nekvalitetan
neispravan	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ispravan

4. Biste li kupili ovaj stroj?

DA NE

3.A. Pearsonov koeficijent korelacije

Najčešće upotrebljavani parametar kojim se izražava stupanj linearne korelacije između neke dvije varijable jest Pearsonov koeficijent korelacije. Njegova vrijednost može se dobiti na nekoliko načina, od kojih je jedan prikazan izrazom 3A.1.

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \cdot \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (3A.1)$$

pri čemu je r Pearsonov koeficijent korelacije, x i y su varijable za koje računamo korelaciju, a \bar{x} i \bar{y} srednje vrijednosti njihovih uzoraka. Vrijednost Pearsonovog koeficijenta kreće se između -1 i 1, pri čemu vrijednost 1 označava da su dvije varijable u savršenoj pozitivnoj korelaciji, što znači da će porast jedne nedvojbeno uzrokovati i porast druge varijable i obrnuto. S druge strane, vrijednost -1 naznačava savršenu negativnu korelaciju dvije varijable, pri kojoj porast jedne uzrokuje pad druge i obrnuto. Vrijednost nula, pak, označava da varijable uopće nisu korelirane. Smatra se da postoji jaka korelacija dviju varijabli ako je apsolutna vrijednost Pearsonovog koeficijenta veća od 0,7, slaba korelacija ako se ta vrijednost nalazi između 0,3 i 0,7 te da varijable načelno nisu korelirane ako je ta vrijednost manja od 0,3. Stroži pristup oslanja se na procjenu značajnosti Pearsonovog koeficijenta korelacije koja ovisi o njegovoj vrijednosti r te o veličini uzoraka N za koje je izračunat. U tom slučaju varijabla t definirana izrazom 3A.2 ima približno t -razdiobu s $N-2$ stupnja slobode. Na temelju toga može se odrediti značajnost svake pojedine vrijednosti Pearsonovog koeficijenta.

$$t = \frac{r}{\sqrt{\frac{1-r^2}{N-2}}} \quad (3A.2)$$

Ocjena značajnosti koeficijenta korelacije počiva na činjenici da razdioba koeficijenta korelacije jako ovisi o broju uzoraka N . Iako je očekivana vrijednost koeficijenta korelacije dviju slučajnih varijabli uvijek 0, za vrlo mali broj uzoraka nije rijetkost da se, čak i sasvim slučajno, dobiju visoke vrijednosti koeficijenta korelacije. Kako se broj uzoraka povećava, vrijednosti koeficijenta korelacije sve se više grupiraju oko vrijednosti nula, a visoke se vrijednosti koeficijenta korelacije sve rjeđe dobivaju. Na temelju izraza 3A.2 i činjenice da

njime definirana varijabla t ima približno t -razdiobu određuje se granična vrijednost koeficijenta korelacije koju treba premašiti da bi korelacija dvije varijable bila značajna uz zadanu razinu značajnosti. Razlikuju se dvije procjene značajnosti: jednostrana, pri kojoj je korelacija značajna ukoliko koeficijent korelacije premaši izračunatu vrijednost, ili dvostrana, pri kojoj apsolutna vrijednost koeficijenta korelacije mora premašiti tu vrijednost. Drugim riječima, značajnost označava vjerojatnost da je određena vrijednost koeficijenta korelacije izračunata za neke dvije varijable dobivena slučajno pa se zaključuje da uz neku zadanu razinu značajnosti postoji ili ne postoji korelacija između neke dvije varijable, odnosno dva uzorka.

3.B. Analiza varijance (ANOVA)

Analiza varijance jest metoda kojom se testiraju pretpostavke o razlikama između dviju ili više srednjih vrijednosti i predstavlja svojevrsno proširenje t -testa kojim se isti zadatak provodi za dvije srednje vrijednosti. Cilj ovog testa jest utvrditi razlikuju li se srednje vrijednosti dovoljno da bi to bilo statistički značajno. Pretpostavke pod kojima se test može provesti jesu da sve populacije iz kojih su uzeti uzorci imaju normalnu razdiobu i jednaku varijancu σ^2 te da je svako opažanje u pojedinom uzorku načinjeno poštujući načela slučajnosti i nezavisnosti. Međutim, pokazuje se da je ovaj tip testa relativno pouzdan i nije pretjerano osjetljiv na nepoštivanje spomenutih uvjeta.

Testom se ispituje značajnost početne pretpostavke da su sve srednje vrijednosti jednake te se ona može odbaciti ukoliko se pokaže da je rezultat testa statistički značajan. Dakle, može se napisati da je

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_a \quad (3B.1)$$

gdje su μ_i srednje vrijednosti pojedinih populacija. Test počiva na dvije procjene varijance cijele populacije σ^2 , s time da je jedna od njih, koju nazivamo srednjim kvadratnim odstupanjem i označavamo s MSE (engl. *Mean Square Error*), načinjena na osnovi varijacija unutar pojedinih uzoraka i predstavlja procjenu varijance σ^2 neovisno o tome je li početna pretpostavka točna ili nije. Računa se kao srednja vrijednost varijanci procijenjenih iz svih dostupnih uzoraka:

$$MSE = \frac{1}{a} \sum_{j=1}^a s_j^2 \quad (3B.2)$$

pri čemu je a broj uzoraka, odnosno grupa, a procjene varijance iz pojedinih uzoraka s_j^2 računaju se kao:

$$s_j^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_j)^2 \quad (3B.3)$$

gdje je n broj opažanja u pojedinom uzorku, X_{ij} su vrijednosti pojedinih opažanja u j -tom uzorku, a \bar{X}_j srednja vrijednost tog uzorka.

Ista procjena može se izraziti i kao:

$$MSE = \frac{\sum_{j=1}^a \sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_j)^2}{a(n-1)} \quad (3B.4)$$

pri čemu je brojnik jednak zbroju kvadrata odstupanja svih opažanja X_{ij} u pojedinom uzorku j od njegove srednje vrijednosti \bar{X}_j , sumirano po svim uzorcima. Nazivnik izraza predstavlja broj stupnjeva slobode, jer imamo a uzoraka od kojih svaki ima $n-1$ stupanj slobode. U ovom se slučaju pretpostavlja da je broj opažanja u svim uzorcima jednak i iznosi n , što je najčešće i slučaj.

Druga procjena varijance σ^2 temelji se na varijacijama između srednjih vrijednosti pojedinih uzoraka te je zovemo srednjim kvadratnim odstupanjem između uzoraka i označavamo s MSB (engl. *Mean Square Between*) i predstavlja procjenu varijance σ^2 samo ako je početna pretpostavka točna, tj. ako su sve srednje vrijednosti populacija jednake. Ako to nije slučaj, tj. ako se one značajno razlikuju, tada MSB procjenjuje vrijednost koja može biti mnogo veća od σ^2 te je njezina očekivana vrijednost jednaka:

$$E[MSB] = \sigma^2 + \frac{n \sum_{j=1}^a (\mu_j - \bar{\mu})^2}{a-1} \quad (3B.5)$$

pri čemu su μ_j srednje vrijednosti populacija, $\bar{\mu}$ srednja vrijednost srednjih vrijednosti pojedinih populacija, n veličina uzorka uzetog iz svake pojedine populacije, a a broj populacija.

Prvi korak u određivanju MSB jest procjena varijance koju ima razdioba srednjih vrijednosti uzoraka σ_M^2 . Podsjetimo se da imamo ukupno a uzoraka, a time i a srednjih vrijednosti tih uzoraka. Varijancu razdiobe srednjih vrijednosti σ_M^2 procjenjujemo pomoću parametra s_M^2 , prema izrazu:

$$s_M^2 = \frac{1}{a-1} \sum_{j=1}^a (\bar{X}_j - \bar{X})^2 \quad (3B.6)$$

Vidi se da izraz 3B.6 ima isti oblik kao i izraz 3B.3, ali u ovom slučaju procjena se provodi iz veličine odstupanja a srednjih vrijednosti uzoraka \bar{X}_j od njihove aritmetičke sredine \bar{X} . No, za provedbu testa potrebno je naći MSB kao procjenu varijance σ^2 , što se može jednostavno izračunati prema izrazu:

$$MSB = n \cdot s_M^2 = \frac{n \cdot \sum_{j=1}^a (\bar{X}_j - \bar{X})^2}{a-1} \quad (3B.7)$$

gdje je n jednak broju opažanja u svakom uzorku. Slično kao i u izrazu 3B.4, brojnik izraza 3B.7 jednak je zbroju kvadrata odstupanja svih srednjih vrijednosti uzoraka \bar{X}_j od njihove srednje vrijednosti \bar{X} . Nazivnik izraza predstavlja broj stupnjeva slobode, jer imamo a srednjih vrijednosti.

Ako je početna hipoteza točna, omjer ove dvije procjene $F = MSB/MSE$ je blizak jedinici jer obje veličine procjenjuju isti parametar, varijancu populacije σ^2 . Ukoliko početna hipoteza nije točna, odnosno populacije se značajno razlikuju, tada vrijednost MSB može biti znatno veća od MSE , a F postaje znatno veći od 1. Uz pretpostavku da je početna hipoteza točna, tj. da su populacije jednake, omjer F ima F -razdiobu čiji oblik ovisi o broju stupnjeva slobode brojnika i nazivnika u omjeru te se može napisati da $F \sim F(a-1, a(n-1))$. Iz spomenute se razdiobe može izračunati vjerojatnost p dobivanja omjera F jednakog ili većeg od onog upravo izračunatog iz dostupnih podataka, ako je početna hipoteza točna.

Ukoliko je ta vjerojatnost manja od izabrane razine značajnosti, tada se početna pretpostavka može odbaciti jer se podaci dobiveni eksperimentom značajno razlikuju od početne hipoteze. Razina značajnosti odabire se proizvoljno, najčešće je to 0,05 ili 0,01, pri čemu je manja vrijednost konzervativnija, jer se dobiveni podaci moraju više razlikovati od početne pretpostavke da bi bili statistički značajni. Ukoliko je vjerojatnost p veća od izabrane razine značajnosti, tada se početna hipoteza ne može odbaciti, što ne znači nužno da je automatski treba prihvatiti, jer se u ovom slučaju pojedine populacije ipak mogu razlikovati, ali ne toliko da bi ta razlika bila statistički značajna i vidljiva iz podataka dobivenih eksperimentom. U svakom slučaju, pri odbacivanju početne hipoteze mala vrijednost vjerojatnosti p upućuje na dvije mogućnosti: a) događaj opisan podacima dobivenim u eksperimentu je vrlo malo vjerojatan ako je početna hipoteza točna, ili b) početna hipoteza nije točna i treba je odbaciti. Dakle, vjerojatnost p nije vjerojatnost da je početna hipoteza točna.

3.C. Tukeyev test

Tukeyev test jedna je od metoda kojom se nadopunjava analiza varijance radi utvrđivanja konkretnih vrijednosti koje se među sobom značajno razlikuju. Ovom se metodom značajnost razlike dviju srednjih vrijednosti ispituje izračunom veličine t_s za sve moguće parove srednjih vrijednosti, kojih ima $a(a-1)/2$ ako je broj srednjih vrijednosti a . Veličinu t_s računamo prema izrazu 3C.1 i ona ima razdiobu vrlo sličnu klasičnoj t -razdiobi, koju, međutim, osim stupnjeva slobode koji je jednak $an-1$ ako je n broj ispitanika, određuje i broj srednjih vrijednosti a koje ispituje. Pretpostavka je da je vjerojatnost da će se barem neki parovi srednjih vrijednosti sasvim slučajno značajno razlikovati veća uz veći broj srednjih vrijednosti koje testiramo. Kritičnu vrijednost t_{scrit} možemo očitati iz tablica za spomenutu razdiobu uz poznat broj srednjih vrijednosti koje testiramo, broj stupnjeva slobode i izabranu razinu značajnosti. Kritična vrijednost raste uz porast broja srednjih vrijednosti koje testiramo, čime se postrožuje test.

$$t_s = \frac{\bar{X}_i - \bar{X}_j}{\sqrt{\frac{MSE}{n}}}, \quad i, j = 1, 2, \dots, a \quad \text{ i } \quad i \neq j \quad (3C.1)$$

pri čemu je MSE dobiven pri provedbi ANOVA testa, a n je i dalje broj opažanja u pojedinom uzorku. Ako vrijednost veličine t_s premaši kritičnu vrijednost t_{scrit} , tada možemo zaključiti da je razlika srednjih vrijednosti i -tog i j -tog uzorka \bar{X}_i i \bar{X}_j statistički značajna. Uvjet za statističku značajnost razlike srednjih vrijednosti može se izraziti i na drugi način:

$$|\bar{X}_i - \bar{X}_j| > t_{scrit} \sqrt{\frac{MSE}{n}} \quad (3C.2)$$

što je upravo i oblik upotrijebljen pri konkretnim testiranjima rezultata subjektivnih ispitivanja.

Primjer Tukeyevog testa pokazan je tablicom 3C.1.

Tablica 3C.1. Primjer Tukeyevog testa

		Srednja vrijednost uzorka br.					
		2	3	4	5	6	
		-0,02	0,60	0,16	0,09	-0,76	
Srednja vrijednost uzorka br.	1	-0,77	0,75	1,37	0,93	0,86	0,00
	2	-0,02		0,00	0,00	0,00	0,74
	3	0,60			0,00	0,00	1,36
	4	0,16				0,00	0,92
	5	0,09					0,85

U tablici 3C.1 prikazane su srednje vrijednosti uzoraka od $n = 28$ ispitanika dobivene ocjenom jednog od subjektivnih parametara za svaki od 6 uređaja. Pri provedbi ovih testova izabrana razina značajnosti mora biti jednaka onoj kod ANOVA testova. Izjednačavanje razine značajnosti za obje vrste testa nužno je jer su samo u tom slučaju rezultati Tukeyevog testa izravno potkrijepljeni rezultatima ANOVA testa. Za različite razine značajnosti definirane za spomenute testove može se dogoditi da ANOVA test ne prepozna postojanje značajnih razlika, a Tukeyev test ih ipak identificira, i obrnuto.

Uz izabranu razinu značajnosti od 0,05, broj uzoraka $a = 6$ i broj ispitanika $n = 28$ dobiva se kritična vrijednost $t_{scrit} = 4,08$. Uz poznatu vrijednost MSE uzetu iz ANOVA testa za ovaj se slučaj dobiva da se dvije srednje vrijednosti normiranih ocjena sigurnosti moraju razlikovati najmanje za 0,67 da bi ta razlika bila proglašena značajnom.

Kako se vidi iz tablice 3C.1, potrebno je usporediti svaku srednju ocjenu sa svim ostalim srednjim ocjenama te utvrditi je li njihova apsolutna razlika veća ili manja od spomenute vrijednosti 0,67. Vrijednosti te razlike veće od spomenute označene su crvenom bojom, a one manje od spomenute postavljene su na vrijednost 0 radi preglednosti. Vidljivo je da se srednje vrijednosti uzoraka 1 i 6 značajno razlikuju od srednjih vrijednosti svih preostalih uzoraka, ali ne i međusobno.

3.D. Linearna regresija

Matematička metoda linearne regresije u svom se najopćenitijem obliku odnosi na modeliranje odnosa između jedne ili više zavisnih varijabli Y i jedne ili više nezavisnih varijabli X , pri čemu je važno naglasiti da model predstavlja linearnu kombinaciju nepoznanica u modelu, koje valja procijeniti iz vrijednosti varijabli Y i varijabli X dobivenih empirijski, najčešće kao rezultat konkretnog eksperimenta.

3.D.1. Jednostruka linearna regresija

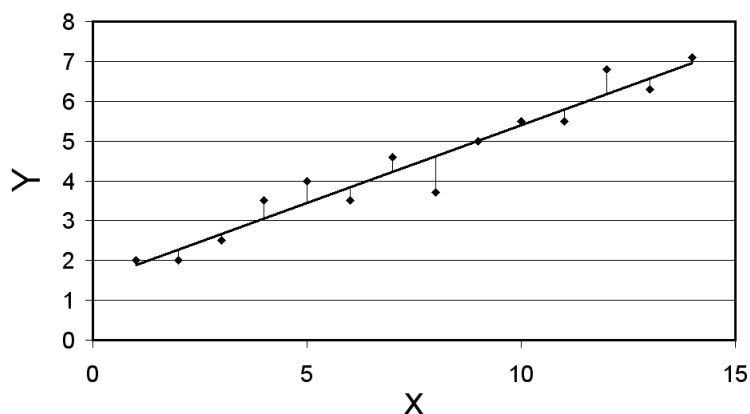
Najjednostavniji slučaj linearne regresije jest jednostruka linearna regresija kod koje postoji samo jedna zavisna varijabla y i jedna nezavisna varijabla x . Model kojim se opisuje veza između spomenutih varijabli definira se kao:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \quad (3D.1)$$

pri čemu su upravo koeficijenti β_0 i β_1 nepoznanice koje valja procijeniti iz dostupnih podataka. Prva dva člana u modelu daju procijenjenu vrijednost varijable y za određenu vrijednost varijable x , dok treći član izraza ε predstavlja razliku između stvarne i procijenjene vrijednosti varijable y , odnosno pogrešku procjene. Ako je u eksperimentu načinjeno N opažanja, onda se svako od njih može izraziti kao:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (3D.2)$$

Primjer linearne regresije uz jednu zavisnu varijablu y i jednu nezavisnu varijablu x pokazan je na slici 3D.1.



Sl.3D.1. Primjer linearne regresije uz jednu zavisnu varijablu y i jednu nezavisnu varijablu x

Na slici je vidljivo da stvarne vrijednosti varijable y dobivene eksperimentalno više ili manje odstupaju od onih procijenjenih regresijskim pravcem, pri čemu je odstupanje predstavljeno upravo varijablom ε , za koju se pretpostavlja da je slučajna varijabla s očekivanjem 0 i nepoznatom varijancom σ^2 .

Procjena koeficijenata β_0 i β_1 , odnosno regresijskog pravca koji predstavlja najbolju aproksimaciju dobivenih podataka, temelji se na metodi najmanjih kvadrata kojom se spomenuti koeficijenti procjenjuju tako da suma kvadrata odstupanja stvarnih vrijednosti varijable y od procijenjenih bude minimalna. Kvadrati odstupanja ε_i^2 uzeti su jer bi pozitivne vrijednosti odstupanja bile poništene negativnima kad bi odstupanja bila uzeta u svom izvornom obliku. Suma kvadrata odstupanja izražava se kao:

$$S = \sum_{i=1}^N \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^N (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i)^2 \quad (3D.3)$$

Ova suma bit će minimalna kada su njezine parcijalne derivacije po koeficijentima β_0 i β_1 jednake nuli:

$$\frac{\partial S}{\partial \beta_0} \Big|_{\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1} = -2 \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 x_i) = 0 \quad (3D.4)$$

$$\frac{\partial S}{\partial \beta_1} \Big|_{\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1} = -2 \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{\beta}_0 - \hat{\beta}_1 x_i) x_i = 0 \quad (3D.5)$$

pri čemu su koeficijenti β_0 i β_1 zamijenjeni sa $\hat{\beta}_0$ i $\hat{\beta}_1$ koji predstavljaju procjene traženih koeficijenata i dobivaju se upravo onda kada su zadovoljeni gore iskazani uvjeti za minimalnu sumu kvadrata odstupanja. Rješavanjem gornjeg sustava dvije jednačbe s dvije nepoznanice dobivaju se procijenjeni koeficijenti $\hat{\beta}_0$ i $\hat{\beta}_1$ kao:

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x} \quad (3D.6)$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^N y_i x_i - \frac{\left(\sum_{i=1}^N y_i\right)\left(\sum_{i=1}^N x_i\right)}{n}}{\sum_{i=1}^N x_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^N x_i\right)^2}{n}} \quad (3D.7)$$

pri čemu su \bar{x} i \bar{y} srednje vrijednosti svih opažanja varijabli x i y . Procijenjeni regresijski pravac izražava se kao:

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x \quad (3D.8)$$

Pri tome svaka vrijednost nezavisne varijable x_i i njoj odgovarajuća vrijednost zavisne varijable y_i zadovoljavaju relaciju:

$$y_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_i + e_i, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (3D.9)$$

Varijabla e , odnosno njezine vrijednosti e_i nazivaju se rezidualima i predstavljaju odstupanje stvarnih vrijednosti varijable y_i od vrijednosti \hat{y}_i procijenjenih modelom.

Analiza reziduala jedan je od načina procjene valjanosti dobivenog modela.

Procjena varijance varijable ε , koja predstavlja član pogreške, odnosno odstupanja u izrazu 3D.1, temelji se na dobivenim vrijednostima reziduala e_i , prema izrazu:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N e_i^2}{N - 2} \quad (3D.10)$$

Osim analizom reziduala, značajnost, odnosno reprezentativnost modela ispituje se primjenom analize varijance prikazane izrazom 3D.11 kojim je definirana veza između protumačenog, rezidualnog i ukupnog odstupanja varijable y od njezine aritmetičke sredine.

$$\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - \bar{y})^2 + \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i)^2 \quad (3D.11)$$

Izraz na lijevoj strani znaka jednakosti u izrazu 3D.11 predstavlja sumu kvadrata ukupnog odstupanja stvarnih vrijednosti varijable y od njezine aritmetičke sredine i označava se sa ST . Ukupno odstupanje dijeli se na protumačeni i rezidualni dio. Prvi član izraza na desnoj strani znaka jednakosti predstavlja sumu kvadrata protumačenog dijela odstupanja vrijednosti varijable y od njezine aritmetičke sredine, odnosno sumu kvadrata odstupanja procijenjenih vrijednosti varijable y od njezine aritmetičke sredine i označava se sa SP . Ovaj dio spomenutog ukupnog odstupanja naziva se protumačenim upravo zbog toga što su procijenjene vrijednosti varijable y jasno definirane upravo primijenjenim regresijskim pravcem. Drugi član izraza predstavlja sumu kvadrata odstupanja stvarnih vrijednosti varijable y od njezinih vrijednosti procijenjenih regresijskim pravcem, odnosno sumu kvadrata reziduala e_i koji predstavljaju pogreške u procjeni. Ovaj član označava se sa SR i predstavlja rezidualni dio ukupnog odstupanja vrijednosti varijable y od njezine aritmetičke sredine. Ovaj dio spomenutog ukupnog odstupanja zovemo i neprotumačenim upravo zbog toga što je odstupanje stvarnih vrijednosti varijable y od onih procijenjenih regresijskim pravcem, predstavljeno rezidualima e_i , slučajnog karaktera. Dakle, uz uvedene oznake može se napisati da je:

$$ST = SP + SR \quad (3D.12)$$

Statistički test koji se provodi dobivenim veličinama jest test značajnosti regresije pri čemu se ispituje početna hipoteza da nema linearne veze između varijabli x i y , tj. da je nagib regresijskog pravca $\beta_1 = 0$, dok je alternativna hipoteza da ona postoji, dakle, da je nagib regresijskog pravca različit od nule. Ako je početna hipoteza točna, onda statistika

$$F_0 = \frac{\frac{SP}{1}}{\frac{SR}{N-2}} = \frac{MSP}{MSR} \quad (3D.13)$$

ima $F_{1,N-2}$ razdiobu, pri čemu su MSP i MSR srednje kvadratne vrijednosti protumačenog i rezidualnog dijela odstupanja stvarnih vrijednosti varijable y od njezine srednje vrijednosti. Početna hipoteza da nema linearne ovisnosti između varijable x i varijable y odbacuje se kada konkretna vrijednost f_0 dobivena primjenom gornjeg izraza na konkretne vrijednosti dobivene eksperimentom i modeliranjem premaši vrijednost $f_{\alpha,1,N-2}$, pri čemu je α izabrana razina značajnosti.

Statistički testovi kojima se mogu ispitati pretpostavke o vrijednostima nagiba regresijskog pravca β_1 , kao i odsječka pravca na osi ordinata β_0 provode se i t -testovima.

Jedan od pokazatelja reprezentativnosti modela jest koeficijent determinacije R^2 , koji se definira kao:

$$R^2 = \frac{SP}{ST} = 1 - \frac{SR}{ST} \quad (3D.14)$$

a predstavlja postotak odstupanja stvarnih vrijednosti varijable y od njezine aritmetičke sredine protumačenih regresijskim modelom. Poželjno je da je protumačeni dio tih odstupanja što veći, što rezultira većom vrijednošću koeficijenta determinacije, koja se kreće između 0 i 1.

Ukoliko nezavisna varijabla x i zavisna varijabla y nisu u linearnom odnosu, regresijski model u kojem je ovisnost varijable y o varijabli x linearna neće dati željene rezultate. Stoga se na varijablama x i y mogu provesti različite transformacije kako bi se linearizirao odnos tako dobivenih varijabli. Transformacije su oblika:

$$x' = \sqrt{x}, \quad x' = \frac{1}{x}, \quad x' = \sin x, \quad x' = \ln x, \quad x' = x^n \quad (3D.15)$$

Pritom regresijski model poprima oblik:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x' + \varepsilon \quad (3D.16)$$

Navedene transformacije samo su primjeri elementarnih transformacija te mogu poprimiti i složenije oblike. Nelinearni modeli koje je moguće linearizirati su oblika, primjerice:

$$y = \beta_0 e^{\beta_1 x} \varepsilon \quad (3D.17)$$

koji je moguće linearizirati primjenom prirodnog logaritma na obje strane izraza, čime se on pretvara u:

$$\ln y = \ln \beta_0 + \beta_1 x + \ln \varepsilon \quad (3D.18)$$

3.D.2. Višestruka linearna regresija

Kod višestruke linearne regresije u model je uključeno k nezavisnih varijabli x pa se on proširuje u odnosu na model jednostruke linearne regresije, opisan izrazom 3D.1, kao:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (3D.19)$$

Kao i kod jednostruke linearne regresije, svako od N opažanja zadovoljava gornji izraz pa se može napisati da je:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (3D.20)$$

U matričnom se obliku isti model izražava kao:

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (3D.21)$$

pri čemu je \mathbf{y} vektor veličine $N \times 1$ koji sadrži sva opažanja zavisne varijable y , \mathbf{X} je matrica veličine $N \times (k+1)$ čiji stupci sadrže opažanja nezavisnih varijabli, $\boldsymbol{\beta}$ je vektor regresijskih koeficijenata veličine $(k+1) \times 1$, a $\boldsymbol{\varepsilon}$ je vektor pogreške veličine $N \times 1$.

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_N \end{bmatrix}, \quad \mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1 & x_{N1} & x_{N2} & \cdots & x_{Nk} \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{\beta} = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_k \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_N \end{bmatrix} \quad (3D.22)$$

Procjena koeficijenata β_i odvija se na isti način kao i kod jednostruke linearne regresije, dakle, metodom najmanjih kvadrata putem minimizacije sume kvadrata odstupanja koja se u ovom slučaju izražava kao:

$$S = \sum_{i=1}^N \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^N \left(y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^k \beta_j x_{ij} \right)^2 \quad (3D.23)$$

Procijenjeni koeficijenti $\hat{\beta}_i$ dobivaju se iz uvjeta da su parcijalne derivacije sume S po svim traženim koeficijentima jednake nuli.

$$\left. \frac{\partial S}{\partial \beta_j} \right|_{\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \dots, \hat{\beta}_k} = 0 \quad (3D.24)$$

Time se dobiva $k+1$ jednadžbi s isto toliko nepoznanica iz kojih se računaju procijenjeni regresijski koeficijenti, analogno postupku kod jednostruke linearne regresije. U matričnom se obliku vektor procijenjenih regresijskih koeficijenata izražava kao:

$$\hat{\boldsymbol{\beta}} = (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}'\mathbf{y} \quad (3D.25)$$

Procjena varijance varijable ε , koja predstavlja član pogreške, odnosno odstupanja u izrazu 3D.19, temelji se na dobivenim vrijednostima reziduala e_i , prema izrazu:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N e_i^2}{N - (k + 1)} \quad (3D.26)$$

Ispitivanje značajnosti regresije i u ovom se slučaju provodi na temelju analize varijance pri čemu se ispituje postojanje linearnih odnosa između zavisne varijable y i nezavisnih

varijabli x . Početna hipoteza je da su svi regresijski koeficijenti pridruženi nezavisnim varijablama jednaki 0, drugim riječima, $\beta_i = 0$ za $i = 1, 2, \dots, k$. Alternativna hipoteza je da je barem jedan od regresijskih koeficijenata različit od nule, što znači da njemu pridružena nezavisna varijabla značajno pridonosi regresijskom modelu. U ovom slučaju primijenjena statistika se izražava kao:

$$F_0 = \frac{\frac{SP}{k}}{\frac{SR}{N-(k+1)}} = \frac{MSP}{MSR} \quad (3D.27)$$

i ima $F_{k, N-(k+1)}$ razdiobu, a početnu hipotezu moguće je odbaciti kada konkretna vrijednost f_0 dobivena gornjim izrazom premaši $f_{\alpha, k, N-(k+1)}$, uz izabranu razinu značajnosti α .

I kod višestruke linearne regresije reprezentativnost modela ispituje se utvrđivanjem koeficijenta determinacije definiranog izrazom 3D.14. Međutim, vrijednost koeficijenta determinacije može se sasvim približiti jedinici dodavanjem dovoljnog broja nezavisnih varijabli x u model. Stoga se definira prilagođeni koeficijent determinacije \bar{R}^2 čija vrijednost raste samo onda kada se dodavanjem nove nezavisne varijable u model smanji srednja vrijednost pogreške MSR . Prilagođeni koeficijent determinacije računa se prema izrazu:

$$\bar{R}^2 = 1 - \frac{\frac{SR}{N-(k+1)}}{\frac{ST}{N-1}} = \frac{N-1}{N-(k+1)}(1-R^2) \quad (3D.28)$$

Pri izradi modela temeljenog na višestrukoj linearnoj regresiji potrebno je procijeniti koliko pojedine nezavisne varijable x_j doprinose reprezentativnosti modela, kako bi ih se po potrebi moglo uključiti u model ili ukloniti iz njega. Naime, svaka nova nezavisna varijabla dodana u model uzrokovat će porast sume kvadrata protumačenog dijela ukupnog odstupanja SP pa je potrebno procijeniti opravdava li dobiveni porast dodavanje te varijable u model. Međutim, dodavanje nezavisne varijable u model koja je nevažna, odnosno, ne donosi korist, uzrokuje porast srednje kvadratne pogreške MSR , što znači da je dodavanjem takve varijable reprezentativnost modela smanjena.

Procjena značajnosti svakog od regresijskih koeficijenata β_j , a time i njima pridijeljenih nezavisnih varijabli x_j , može se provesti pomoću t -testova kojima se testira početna hipoteza da je određeni regresijski koeficijent jednak nuli. Ukoliko test pokaže da nije moguće odbaciti početnu hipotezu, zaključuje se da taj regresijski koeficijent i njemu pridružena varijabla nisu važni za formiranje modela. Općenitiji način procjene značajnosti uključuje uporabu djelomičnih F -testova kojima se procjenjuje značajnost svake pojedine nezavisne varijable koju se tada tretira kao da je posljednja dodana u model. Međutim, ovim se testovima procjenjuje i značajnost podskupa nezavisnih varijabli, pri čemu je početna hipoteza da nijedna varijabla iz podskupa ne doprinosi značajno modelu, tj. da su regresijski koeficijenti svih varijabli iz tog podskupa jednaki nuli. Ako se početna hipoteza može odbaciti, tada barem jedna od varijabli iz podskupa daje značajan doprinos modelu. Ukoliko se djelomični F -testovi primijene na svaku pojedinu nezavisnu varijablu, tada su njima dobiveni rezultati ekvivalentni rezultatima već spomenutih t -testova jer kvadrat slučajne varijable t s n stupnjeva slobode ima upravo $F_{1,n}$ razdiobu.

Kao i kod jednostruke linearne regresije, i u ovom se slučaju valjanost modela procjenjuje analizom reziduala. Dodatno, valja utvrditi postojanje tzv. utjecajnih opažanja, koja su definirana kao podskup vrijednosti onih opažanja koja se nalaze daleko od područja u kojem su smještene vrijednosti preostalih opažanja. Potrebno je pronaći uzrok njihove pojave te ih eliminirati iz skupa podataka ako se pokaže da su njihove vrijednosti rezultat pogreške u nekoj od faza pripreme ili provedbe eksperimenta ili, pak, analize dobivenih rezultata. Budući da utjecajna opažanja imaju velik utjecaj na oblik modela, potrebno ih je analizirati i odlučiti mogu li ona biti zadržana pri izradi modela čak i ako nisu posljedica pogreške. Jedna od mjera kojima se izražava utjecajnost određenog opažanja je Cookova udaljenost koja predstavlja kvadrat udaljenosti između procijenjenih regresijskih koeficijenata β kada se procjena temelji na svim opažanjima i regresijskih koeficijenata dobivenih procjenom koja se temelji na svim opažanjima osim i -tog koje je izbačeno. Velika vrijednost Cookove udaljenosti naznačava da se regresijski koeficijenti dobiveni u jednom, odnosno drugom slučaju značajno razlikuju, što znači da upravo izbačeno opažanje ima veliki utjecaj na konačan oblik modela.

Transformacije nezavisnih i zavisnih varijabli omogućavaju izradu polinomnih regresijskih modela kao posebnih slučajeva linearne regresije, pri čemu takvi modeli najčešće imaju oblik:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \dots + \beta_k x^k + \varepsilon \quad (3D.29)$$

Dobiveni je model funkcija jedne nezavisne varijable na kojoj je primijenjena transformacija oblika $x' = x^n$ za dobivanje preostalih nezavisnih varijabli u modelu. Moguće je definirati i polinomne modele s više varijabli, primjerice:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_1^2 + \beta_4 x_2^2 + \beta_5 x_1 x_2 + \varepsilon \quad (3D.30)$$

Iz izraza 3D.30 vidi se da polinomni model osim nezavisnih varijabli i njihovih potencija višeg reda može sadržavati i članove koji predstavljaju međudjelovanje nezavisnih varijabli.

U svakom slučaju, pri uporabi polinomnih modela naglasak se stavlja na dobivanje reprezentativnog modela uz zadržavanje što je moguće nižeg stupnja rezultirajućeg polinoma. Kao i kod klasičnih regresijskih modela, i ovdje se provode djelomični F -testovi kojima se opravdava uvođenje određene varijable u model ili njezino uklanjanje iz istog.

Pri izboru nezavisnih varijabli x koje će biti iskorištene za izradu regresijskog modela potrebno je pronaći one kojima će na najbolji način biti opisane vrijednosti opažanja zavisne varijable y . Pritom valja načiniti kompromis između zahtjeva za dobivanjem što boljeg modela koji se, osim za objašnjenje međuodnosa nezavisnih i zavisne varijable, može iskoristiti i za predviđanje budućih opažanja, te, s druge strane, zahtjeva za očuvanjem jednostavnosti uporabe modela. Prvi zahtjev podrazumijeva uporabu što većeg broja nezavisnih varijabli, a drugi što manjeg, pa otuda i potreba za spomenutim kompromisom.

Potruga za najboljim mogućim skupom nezavisnih varijabli, a time i najboljim regresijskim modelom provodi se na više načina. Prvi postupak uključuje iskušavanje svih mogućih kombinacija nezavisnih varijabli, pri čemu se izrađuju modeli s jednom, dvije, tri, ... sve do k nezavisnih varijabli i bira onaj koji, uz što je moguće manji broj nezavisnih varijabli, pokazuje najbolja svojstva prema rezultatima analize reziduala, dobivenog koeficijenta determinacije, njegove prilagođene inačice ili nekog drugog parametra za ispitivanje valjanosti modela. S obzirom da se na opisan način može izraditi ukupno 2^k regresijskih modela, za veliki broj potencijalno iskoristivih nezavisnih varijabli ovaj pristup zahtijeva mnogo vremena.

Drugi postupak naziva se '*stepwise*' regresijom, što se može prevesti kao 'korak po korak', i najčešće se koristi za izradu regresijskih modela. Postupak se temelji na izradi niza regresijskih modela dodavanjem i uklanjanjem nezavisnih varijabli, pri čemu je kriterij za dodavanje i uklanjanje varijabli dobiven prije opisanim djelomičnim F -testovima. Prije početka postupka definiraju se vrijednosti slučajne varijable F koja se koristi u spomenutim testovima, s tim da je f_{ul} granična vrijednost koja se koristi pri dodavanju varijabli u model, a f_{izl} granična vrijednost koja se koristi pri uklanjanju varijabli iz modela. Pritom mora vrijediti da je $f_{ul} \geq f_{izl}$. Postupak teče na slijedeći način: prva nezavisna varijabla pomoću koje se formira inicijalni model je ona koja je u najsnažnijoj korelaciji sa zavisnom varijablom. Zatim se iz skupa preostalih nezavisnih varijabli u model dodaje ona za koju djelomični F -test daje najvišu vrijednost, ali samo ako je ta vrijednost veća od f_{ul} . Sada je potrebno utvrditi treba li iz modela izbaciti inicijalnu nezavisnu varijablu, opet putem djelomičnog F -testa. Ako je rezultat testa manji od f_{izl} , ta se varijabla uklanja iz modela, u suprotnom ona ostaje u modelu i u slijedećem se koraku traži nova, treća varijabla iz skupa preostalih koju će biti moguće dodati u model koji već sadrži dvije varijable. Općenito, u svakom koraku je potrebno ispitati nezavisne varijable iz skupa onih koje još nisu u modelu i dodati onu za koju se dobiva najviša vrijednost djelomičnog F -testa, ako ta vrijednost premašuje f_{ul} . Zatim se ispituju sve nezavisne varijable u modelu i iz njega isključuje ona za koju je vrijednost dobivena F -testom najmanja, ako je ta vrijednost manja od f_{izl} . Postupak završava kad više nije moguće dodati nijednu nezavisnu varijablu u model ni ukloniti je iz njega.

Treći postupak je varijanta '*stepwise*' regresije pri kojoj se nezavisne varijable isključivo dodaju u model, odnosno provodi se tzv. 'selekcija unaprijed', pa se, sukladno tome, i naziva '*forward*' regresijom. Pritom se varijable jedna po jedna dodaju u model sve dok se dodavanjem nove varijable postiže značajan porast sume kvadrata odstupanja SP protumačenih regresijskim modelom. Kada taj uvjet više nije ispunjen, nove se varijable više ne dodaju u model. Drugim riječima, varijable se dodaju u model dok vrijednosti dobivene djelomičnim F -testovima premašuju zadanu vrijednost f_{ul} .

Četvrti postupak je također varijanta '*stepwise*' regresije, no u ovom se slučaju nezavisne varijable uklanjaju iz modela, odnosno, provodi se 'selekcija unatrag' pa se i postupak naziva '*backward*' regresijom. Pritom se inicijalni regresijski model formira uporabom svih nezavisnih varijabli te se iz njega uklanja ona za koju se dobiva najmanja vrijednost djelomičnog F -testa, i to samo ako je ta vrijednost manja od zadane vrijednosti f_{izl} . Zatim se regresijski model formira bez uklonjene varijable i ponovno se provodi djelomični F -

test radi pronalaženja slijedeće varijable koju je potrebno ukloniti. Postupak završava kada iz modela više nije moguće ukloniti nijednu nezavisnu varijablu.

Za pronalaženje najboljeg mogućeg regresijskog modela preporučljivo je koristiti sva četiri nabrojana postupka, pri čemu je mala prednost dana prvom postupku, kod kojeg se iskušavaju svi mogući oblici regresijskog modela.

Opisani način izrade regresijskih modela počiva na pretpostavci da postoji neki oblik ovisnosti zavisne varijable y o pojedinim nezavisnim varijablama x , ali da među samim nezavisnim varijablama nema ovisnosti. Međutim, u realnim se eksperimentima često pojavljuje ovisnost između pojedinih nezavisnih varijabli te se kaže da je u skupu nezavisnih varijabli prisutna multikolinearnost. Pojava multikolinearnosti ima jak utjecaj na procjenu regresijskih koeficijenata β te na uspješnost primjene dobivenog modela, iako se pokazuje da se za potrebe predviđanja novih vrijednosti zavisne varijable y model još može primijeniti ukoliko se nove vrijednosti nezavisnih varijabli nalaze unutar područja definiranog izvornim opažanjima na temelju kojih je model izrađen. Ukoliko je, pak, potrebna ekstrapolacija, tj. ako se nove vrijednosti nezavisnih varijabli nalaze izvan spomenutog područja, onda je uspješnost primjene modela vrlo upitna.

Utjecaj multikolinearnosti može se umanjiti na više načina. Jedan od njih je dodavanje novih opažanja postojećem skupu podataka radi umanjivanja linearne ovisnosti između pojedinih nezavisnih varijabli. No, budući da takav pristup nije uvijek moguć, alternativa je izbacivanje određenih nezavisnih varijabli iz modela, pri čemu je neizbježan gubitak potencijalno korisne informacije sadržane u opaženim vrijednostima tih varijabli.

Treći se način ublažavanja utjecaja multikolinearnosti odnosi na pronalaženje metode procjene regresijskih koeficijenata β koja će biti manje osjetljiva na pojavu multikolinearnosti od već opisane metode najmanjih kvadrata koja se najčešće primjenjuje. Jedna od metoda je metoda tzv. 'ridge' regresije kod koje se procijenjeni regresijski koeficijenti dobivaju prema izrazu:

$$\hat{\beta}^*(\theta) = (\mathbf{X}'\mathbf{X} + \theta\mathbf{I})^{-1} \mathbf{X}'\mathbf{y} \quad (3D.31)$$

pri čemu je \mathbf{I} jedinična matrica, a θ konstanta čija je vrijednost veća ili jednaka nuli, pri čemu se najčešće uzimaju vrijednosti iz intervala $[0,1]$. Kada je vrijednost ove konstante

jednaka nuli, procijenjeni regresijski koeficijenti identični su onima dobivenima metodom najmanjih kvadrata.

Valja imati na umu da se ovom i sličnim metodama dobivaju tzv. pristrane procjene regresijskih koeficijenata $\hat{\beta}^*(\theta)$ za koje vrijedi da njihove očekivane vrijednosti nisu jednake stvarnim vrijednostima regresijskih koeficijenata β , odnosno:

$$\beta - E(\hat{\beta}^*(\theta)) \neq \mathbf{0} \quad (3D.32)$$

pri čemu se razlika između stvarnih vrijednosti regresijskih koeficijenata i očekivanih vrijednosti njihovih procjena na lijevoj strani izraza 3D.32 naziva pristranošću. Nasuprot tome, metodom najmanjih kvadrata dobivaju se nepristrane procjene regresijskih koeficijenata, što znači da su očekivane vrijednosti njihovih procjena upravo jednake njihovim stvarnim vrijednostima.

Postupak se temelji na izradi procjene regresijskih koeficijenata prema izrazu 3D.31 uz nekoliko različitih vrijednosti konstante θ , nakon čega se dobivene vrijednosti regresijskih koeficijenata β prikazuju grafički u ovisnosti o izabranim vrijednostima konstante θ . Analizom tako dobivenog grafičkog prikaza može se odrediti optimalna vrijednost konstante θ imajući na umu da varijanca procijenjenih koeficijenata pada s porastom vrijednosti konstante θ , čime se stabiliziraju njihove vrijednosti. S druge strane, vrijednost kvadrata pristranosti izražene izrazom 3D.32 raste s porastom vrijednosti konstante θ , što, pak, znači da procijenjene vrijednosti regresijskih koeficijenata sve više odudaraju od stvarnih. Općenito se smatra da je upravo zbog opisanog porasta pristranosti procjene najbolje izabrati što je moguće manju vrijednost konstante θ , ali ipak dovoljno veliku za stabilizaciju procijenjenih vrijednosti regresijskih koeficijenata.

Detaljniji opis postupaka linearne regresije može se pronaći u odgovarajućoj literaturi [73].

Akustička karakterizacija uređaja na osnovi ocjene parametara zvučne slike

Cilj provedenog istraživanja jest definirati i prikazati metode akustičke karakterizacije uređaja na osnovi ocjene objektivnih i subjektivnih parametara zvučne slike. Istraživanje je provedeno za tri tipa ručnog električnog alata sa stajališta prosječnog krajnjeg korisnika.

Definiran je pojam kvalitete zvuka, objašnjeni su razlozi provedbe i ciljevi akustičke karakterizacije te je prikazan uobičajeni pristup ocjeni kvalitete zvuka sa stajališta proizvođača uređaja.

Predložen je skup objektivnih parametara za opis zvučne slike uređaja u pojedinim radnim fazama. U obzir su uzeti i novodefinirani i postojeći objektivni parametri. Naglasak je stavljen na definiranje parametara za opis zvučne slike uređaja pri zaustavljanju.

Predložen je skup subjektivnih parametara za ocjenu zvučne slike te njihova stroga podjela u grupe opisa zvuka, doživljaja zvuka i doživljaja svojstava uređaja. Definiran je postupak uzimanja uzoraka zvuka stvarnih uređaja, njihove pripreme za reprodukciju pri subjektivnim ispitivanjima te provedbe subjektivnih ispitivanja. Izrađena je aplikacija za sintezu uzoraka zvuka pojedinih tipova uređaja te su pomoću nje provedena subjektivna ispitivanja.

Analizom rezultata subjektivnih ispitivanja utvrđeni su relevantni subjektivni parametri za opis zvučne slike pojedinih tipova uređaja i njihova međusobna povezanost. Ispitan je utjecaj iskustva ispitanika na formiranje mišljenja o svojstvima uređaja i njegovog zvuka. Načinjena je usporedba stvarnih i sintetiziranih uzoraka zvuka radi utvrđivanja trendova kojima valja posvetiti pažnju pri dizajnu zvuka uređaja. Procijenjen je utjecaj doživljaja zvuka na ocjenu svojstava uređaja.

Analizom korelacije objektivnih i subjektivnih parametara utvrđeni su skupovi objektivnih parametara relevantnih za opis pojedinih subjektivnih parametara doživljaja zvuka ili svojstava uređaja. Na osnovi pronađenih objektivnih parametara izrađeni su linearni regresijski modeli pojedinih subjektivnih parametara. Ispitana je reprezentativnost dobivenih modela.

Acoustical characterization of devices based on sound quality evaluation

The goal of this research is to define and present the methods of acoustical characterization of devices based on sound quality evaluation using both objective and subjective parameters. The research has been conducted for three types of hand-held power tools from the viewpoint of the end user.

The definition of sound quality has been given in the context of this research, the reasons and goals of acoustical characterization have been explained and the common approach to sound quality evaluation from the viewpoint of the manufacturer has been presented.

A set of objective parameters has been proposed for use in sound quality evaluation for different phases of operation. Both newly defined and existing parameters have been considered. The emphasis was made on defining the parameters used for describing the properties of the sound the devices emit during stopping.

A set of subjective parameters has been proposed to be used for sound quality evaluation. A strict distinction of these parameters has been proposed as sound descriptors, sound perception descriptors and device perception descriptors. The procedure for collecting the sound samples of real devices has been defined and the preparation procedure for raw samples has been explained. The procedure of conducting subjective listening tests has been established. A computer application has been made for synthesizing sounds of different types of devices and another set of subjective tests have been conducted using this application.

The relevance of certain subjective parameters for sound quality evaluation and the correlation between them has been determined. The examination has been made of the influence the listeners' experience in working with the devices has on forming of their judgments about the properties of the devices and their sound. The comparison has been made between real and synthesized sound samples in order to ascertain the trends that have to be accounted for in sound design of these types of devices. An estimate has been made on the influence the perception of sound has on perception of the properties of a device.

The analysis of correlation between objective and subjective parameters has established sets of objective parameters to be used for describing certain sound perception descriptors and device perception descriptors. Linear regression models of these descriptors have been made and examined based on the sets of objective parameters found in correlation analysis.

Ključne riječi

akustička karakterizacija, ocjena zvučne slike, uređaj, ručni električni alat, prosječni korisnik, objektivni parametri, subjektivni parametri, iskustvo, linearna korelacija, linearni regresijski modeli

Keywords

acoustical characterization, sound quality evaluation, device, hand-held power tools, average user, objective parameters, subjective parameters, experience, linear correlation, linear regression models

Životopis

Marko Horvat rođen je 03. srpnja 1978. u Zagrebu. Nakon završene osnovne škole upisao je Gimnaziju Lucijana Vranjanina u Zagrebu u kojoj je i maturirao 1995. godine. Iste godine upisao je Fakultet elektrotehnike i računarstva na kojem je 2001. godine diplomirao na Zavodu za elektroakustiku kod mentora prof.dr.sc. Hrvoja Domitrovića na temi "Zvučnici za visokokvalitetnu reprodukciju".

Po završetku dodiplomskog studija kraće je vrijeme bio zaposlen u tvrtki PIS d.o.o. u Zagrebu na implementaciji poslovno-informatičkih sustava.

Na Fakultetu elektrotehnike i računarstva zaposlio se u veljači 2002. u svojstvu znanstvenog novaka na projektu Ministarstva znanosti, obrazovanja i športa pod brojem 0036011 i nazivom "Procesiranje i ocjenjivanje akustičkog signala u komunikacijama" pod vodstvom prof.dr.sc. Branka Someka. Po završetku spomenutog projekta prelazi na projekt pod brojem 036-0361630-1633 i nazivom "Predviđanje, motrenje i zaštita od buke" pod vodstvom prof.dr.sc. Hrvoja Domitrovića, na kojem radi i danas.

Tijekom rada na Fakultetu sudjelovao je u radu brojnih znanstvenih skupova te se bavio znanstvenim, nastavnim i stručnim radom u područjima buke, tehničke akustike, akustike prostora i građevinske akustike. Aktivno je sudjelovao u organizaciji znanstvenog skupa pod nazivom "2nd Congress of Alps-Adria Acoustics Association", održanog u Opatiji 2005. godine.

Član je Hrvatskog akustičkog društva i međunarodne strukovne udruge Audio Engineering Society.

Biography

Marko Horvat was born on July 3rd, 1978 in Zagreb, Croatia. After finishing his elementary education, he enrolled in the Lucijan Vranjanin Gymnasium in Zagreb where he graduated in 1995. In the same year he enrolled in the Faculty of Electrical Engineering and Computing in Zagreb, where he received his Masters degree in 2001. He wrote his graduation paper titled 'Loudspeakers for High Fidelity Reproduction' under the supervision of Professor Hrvoje Domitrović at the Department of Electroacoustics.

Upon finishing his undergraduate studies, for a short period of time he worked in the company named PIS.d.o.o. in Zagreb in the field of business informatics.

In February 2002 he was employed as a junior researcher at the Faculty of Electrical Engineering and Computing to work under the supervision of Professor Branko Somek on the project titled 'Processing and evaluation of acoustical signal in communications', funded by the Ministry of Science, Education and Sports. Upon the expiration of this project he was employed to work under the supervision of Professor Hrvoje Domitrović on the project titled 'Prediction, monitoring and protection from noise' and has been working on this project ever since.

Over the years he participated in the proceedings of numerous scientific congresses and has been involved in scientific research, teaching and professional work in the fields of noise and technical acoustics, as well as room and building acoustics. He was actively involved in organization of the '2nd Congress of Alps-Adria Acoustics Association', held in Opatija in 2005.

He is a member of Acoustical Society of Croatia and of Audio Engineering Society.

