

Softver za merenje akustičkih parametara u prostorima *open plane* kancelarija

Aleksandar Stevanović, Miloš Bjelić, Tatjana Miljković, Miomir Mijić

Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu

Beograd, Srbija

sa183070m@student.etf.rs; bjelic@etf.rs; mt185029p@student.etf.rs ; emijic@etf.rs

Sadržaj—Ovaj rad prikazuje realizaciju softvera za proračun i ocenjivanje kvaliteta akustičkog dizajna u *open-plane* kancelarijama. Način merenja je propisan standardom i vrši se u većem broju tačaka u prostoru kako bi se odredio kvalitet akustičkog okruženja što većeg broja radnih pozicija, a samim tim i cele kancelarije. Softver značajno uprošćava proces analize prostorija ovog tipa time što sva merenja i obrada izmerenih signala obavlja u trenutku kada se vrši merenje. Pored toga, omogućava i skladištenje izmerenih signala i parametarskih vrednosti, koje mogu biti od značaja za dalju analizu ili ponovne proračune. Sa druge strane, softver omogućava smanjenja potrebnih hardverskih elemenata pri procesu merenja i analize prostorije. Za merenje su potrebni samo zvučni izvor, mikrofoni, zvučna kartica i računar. Kao rezultat korisnik dobija detaljan izveštaj o karakteristikama analizirane prostorije i ocenu u zavisnosti od vrednosti izmerenih parametara.

Ključne reči – buka; indeks privatnosti; merenje; *open plane office*; softver; STI;

I. UVOD

„*Open plan*“, „*open space*“ ili „otvorene kancelarije“ su mesta gde veći broj ljudi radi u fizički jedinstvenom prostoru. Prednost takvih kancelarija je kvalitet radnog prostora uz olakšanu interakciju i protok informacija među ljudima. U domenu arhitektonskog projektovanja odlikuje ih fleksibilnost prostorne organizacije, mogućnost racionalizacije veličine radnih prostora i jednostavnost u prilagođavanju trenutnim potrebama rada. U planiranju i projektovanju poslovnih zgrada, gde se ne mogu unapred znati svi zahtevi budućih korisnika, ovo je verovatno jedna od najvažnijih karakteristika.

„*Open plan*“ kancelarije imaju i svoje nedostatke u domenu komfora, jer u njima zaposleni neumitno trpe uticaje aktivnosti drugih osoba u okruženju. U tome je najugroženiji zvučni komfor zbog ometanja zvukom i nedostatka privatnosti razgovora. Ometanje nastaje zvukovima koji dolaze iz okruženja i odvlače pažnju, pa time umanjuju sposobnost koncentracije i efikasnosti rada. Govor ljudi u „*open plan*“ kancelarijama za slučajne, može se reći „prinudne“ slušaocima, može biti ometajući, dok za onog ko govori problem unosi svaka želja da se spreči nehotično širenje informacija iz razgovora privatne ili poverljive prirode.

Zbog toga dizajn enterijera „*open plan*“ kancelarija pored funkcionalnosti i estetike mora da obezbedi dovoljno visok nivo zvučnog komfora, što je tema njihovog akustičkog

dizajna. Takvi prostori zahtevaju dizajn koji će minimizirati ometanja i omogućiti koncentraciju na rad [1].

Akustički kvalitet „*open plan*“ kancelarije kvantifikuje se sa nekoliko numeričkih parametara definisanih standardom ISO 3382-3 [2]. Prilikom realizacije merne procedure izračunavaju se parametri definisani drugim standardima [3-6]. Pored toga, definišu se dva posebno važna parametra, distanca ometanja [7] i distanca privatnosti [1]. Oba parametra se zasnivaju na meri razumljivosti govora udaljenog govornika. Distanca privatnosti je rastojanje od govornika na kome govor postaje potpuno nerazumljiv (vrednost *Speech Transmission Index* – STI je manja od 0.2), a distanca ometanja je u istom smislu definisana kao rastojanje na kome se govor otežano razume (vrednost parametra STI je manja od 0.5). Standardom su definisani sledeći parametri koje je potrebno izračunati:

- Prostorna raspodela nivoa zvučnog pritiska govora težinovan sa A-krivom [9]. Ova kriva pokazuje kako se nivo zvučnog pritiska smanjuje u zavisnosti od rastojanja od zvučnog izvora koji emituje šum sa spektrom snage kao kod govora.
- Brzina prostornog opadanja govora $D_{2,s}$, predstavlja brzinu prostornog opadanja nivoa zvučnog pritiska govora pri dvostrukom povećanju rastojanja.
- Nivo zvučnog pritiska govora, sa A-koeficijentima, na rastojanju od 4 metara, u oznaci $L_{p,A,S,4m}$.
- Indeks prenosa govora STI [10], predstavlja jednobrojnu vrednost koja opisuje kvalitet prenosa govora u pogledu razumljivosti.
- Prostorna raspodela indeksa prenosa govora, predstavlja krivu koja pokazuje kako se STI smanjuje sa povećanjem rastojanja od zvučnog izvora.
- Rastojanje distrakcije r_D , predstavlja rastojanje od izvora na kojem STI opadne ispod vrednosti od 0.5 i izražava se u metrima [7], [11].
- Rastojanje privatnosti r_P , predstavlja rastojanje od izvora na kojem STI opadne ispod vrednosti od 0.2 i izražava se u metrima [7], [11].
- Nivo buke $L_{p,B}$, predstavlja nivo zvučnog pritiska buke koja je prisutna u prostoriji za vreme radnog vremena bez osoblja.

Ovaj rad je realizovan u okviru projekata TR36026 koje finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Nabrojani parametri, koji nisu jednobrojne vrednosti, računaju se po oktavnim opsezima od 125 Hz do 8000 Hz [12].

Pri analizi kancelarija potrebno je odrediti vrednost parametara u većem broju tačaka kako bi se pokrila što veća površina prostorije, a samim tim preciznije odredila prostorna promena vrednosti potrebnih parametara. Za merenje predviđeno standardom potrebni su: generator roze šuma, zvučnik, uređaj za merenje nivoa buke, merni mikrofoni i računar sa softverom za merenje STI. Ovakav postupak je pre svega vremenski zahtevan, ali i podložan greškama, jer je potrebno koristiti podatke iz velikog broja merenja i različitih uređaja. Ocena kvaliteta akustičkog dizajna kancelarije, može se upotrebiti za unapređivanje i poboljšanje analiziranog prostora kako bi se postigao odgovarajući traženi kvalitet [1]. Čuvanjem izmerenih signala i proračunatih vrednosti pri analizi prostorije može se ustanoviti stepen poboljšanja uslova nakon izvršenja određene akustičke intervencije.

Cilj ovog rada je realizacija softverskog rešenja koje ima zadatak da objedini sve potrebne korake pri merenju i analiziranju jedne prostorije, kako bi se olakšao i ubrzao proračun, smanjile greške u proračunu i smanjio broj potrebnih uređaja za izvođenje jedne kompletne analize. Prikazani sistem (softver) za merenje akustičkih parametara kancelarija ovog tipa ne postoji na tržištu. Prednosti realizovanog softvera su smanjenje broja uređaja potrebnih za merenje, značajna ušteda vremena zbog automatizovanog postupka izračunavanja i smanjenje mogućnosti greške prilikom obrade podataka. Rad je organizovan kako sledi. U drugom poglavlju navedeni su i detaljno objašnjeni parametri definisani standardom i način merenja i izračunavanja. U trećem poglavlju prikazan je softver koji je namenjen da olakša merenje i sam proračun, kao i sve funkcionalnosti navedenog softvera. U narednom poglavlju prikazani su eksperimentalni rezultati merenja u jednoj kancelariji i diskusija dobijenih rezultata. Na kraju dat je zaključak o prednostima korišćenja ovog softvera pri analiziranju kancelarija.

II. POSTUPAK ODREĐIVANJA AKUSTIČKIH PARAMETARA PROSTORIJE

Prilikom analize kvaliteta zvučnog komfora u „open plan“ kancelarijama merenja se moraju obaviti u prostoriji sa prisutnim nameštajem ali bez ljudi [13]. Sve osobe, osim lica odgovornih za vršenje merenja, moraju biti van prostorije, kako bi bilo moguće sagledati akustički kvalitet prostorije u najkritičnijoj situaciji. Pokazalo se da prisustvo ljudi dovodi da poboljšanja rezultata pri oceni akustičkih kvaliteta prostorije, jer utiču na prostiranje zvuka tako što poseduju određeni koeficijent apsorpcije [8]. Svi uređaji koji stvaraju pozadinsku buku, kao što su ventilacioni sistemi, moraju biti uključeni. Isključivanjem ovih uređaja pravi se greška u proceni parametara akustičkog kvaliteta prostorije u svakodnevnoj situaciji.

Merenja se obavljaju na više različitih pozicija duž linija koje prolaze kroz radne pozicije. Linije mogu biti pravolinijske i krivolinijske. Preporučuje se pozicioniranje tačaka pravolinijski, ako je to moguće u datoj prostoriji. Veće prostorije potrebno je podeliti na više linija, zbog toga što se kancelarije često sastoje od nekoliko zona, koje se mogu razlikovati po materijalu plafona ili samog nameštaja. Za svaku

zonu realizuje se posebno merenje, tj. formira se nova linija mernih tačaka. Preporučuje se od 6 do 10 tačaka na jednoj liniji, dok je minimalni broj tačaka 4 [1]. Prva merna tačka bi trebalo biti pozicionirana u najbližoj radnoj kabini. Preporučljivo je da, mikrofoni i zvučni izvor, budu na rastojanju od bar 0.5 m od stolova, i najmanje 2 m od zidova i drugih većih refleksivnih površina. Mikrofoni i zvučni izvor postavljaju se na visinu od 1.2 m. U svakoj mernoj tački, mere se ili računaju četiri parametara:

- Nivo zvučnog pritiska roze šuma u oktavnim opsezima, $L_{p,LS}$
- STI
- Nivo buke u oktavnim opsezima, $L_{p,B}$
- Rastojanje od zvučnog izvora

Trajanje jednog merenja bi trebalo biti najmanje 10 sekundi. Pri računanju jednobrojnih parametara, koristi se tabela sa vrednostima nivoa zvučnog pritiska u oktavnim opsezima govora u normalnim uslovima. Tabela sadrži nivoe na rastojanju od 1 m u slobodnom prostoru, $L_{p,S,1m}$. Nivo zvučne snage zvučnog izvora bi trebao biti dovoljno visok tako da nivo zvučnog pritiska premašuje nivo ambijentalne buke za 6 dB u najudaljenijoj mernoj tački, i to u svakom oktavnim opsegu. Signal koji zvučni izvor reprodukuje je roze šum. Nivo zvučnog pritiska na rastojanju od 1 m od zvučnog izvora u slobodnom prostoru, $L_{p,LS,1m}$ u decibelima se računa na osnovu sledeće jednačine:

$$L_{p,LS,1m} = L_{w,LS,i} + 10 \log_{10} \frac{1}{4\pi * 1.0^2} \approx L_{w,LS,i} - 11 \text{ dB.} \quad (1)$$

Potrebno je zatim izmeriti nivo zvučnog pritiska roze šuma koji se reprodukuje iz zvučnog izvora. Merenje se vrši u svakoj mernoj tački na odgovarajućoj mernoj liniji i dobija vrednost $L_{p,LS,n,i}$, gde n predstavlja indeks merne tačke. Zatim se računa odgovarajuće slabljenje u decibelima, $D_{n,i}$, na osnovu sledeće jednačine:

$$D_{n,i} = L_{p,LS,1m,i} - L_{p,LS,n,i} \quad (2)$$

Proračunato slabljenje ne zavisi od nivoa zvučne snage izvora, pa se iz tog razloga može primeniti za određivanje nivoa zvučnog pritiska govora. Nivo zvučnog pritiska govora se očitava iz tabele [1], [5], i umanjuje za izračunato slabljenje, odnosno:

$$L_{p,S,n,i} = L_{p,LS,1m,i} - D_{n,i} \quad (3)$$

Zatim se računa nivo govora sa A-težinskim koeficijentima za svaku poziciju n , tako što se A-koeficijenti dodaju za svaki oktavni opseg i sabiraju po energiji.

$$L_{p,A,S,n,i} = 10 \log_{10} \left(\sum_{i=1}^7 10^{\frac{L_{p,S,n,i} + A_i}{10}} \right) \quad (4)$$

Da bi se izračunao parametar koji karakteriše akustičke osobine prostora, brzina prostornog opadanja $D_{2,S}$, potrebno je u svakoj tački izmeriti nivo ambijentalne buke po oktavnim opsezima $L_{p,B}$, težinovan A-krivom i STI indeks. Pri proračunu parametra $D_{2,S}$ u obzir se uzimaju samo merne tačke sa iste merne linije na rastojanju u opsegu od 2 do 16 metara. Brzina prostornog opadanja računa se na osnovu sledeće jednačine:

$$D_{2,S} = -\log_{10} \frac{\left(N \sum_{n=1}^N \left[L_{p,A,S,n} \log_{10} \left(\frac{r_n}{r_0} \right) \right] - \sum_{n=1}^N \left[L_{p,A,S,n} \sum_{n=1}^N \log_{10} \left(\frac{r_n}{r_0} \right) \right] \right)}{N \sum_{n=1}^N \left[\log_{10} \left(\frac{r_n}{r_0} \right) \right]^2 - \left[\sum_{n=1}^N \log_{10} \left(\frac{r_n}{r_0} \right) \right]^2}, \quad (5)$$

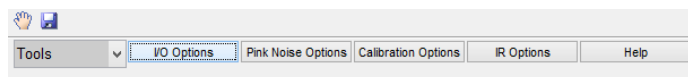
gdje je n indeks merne tačke, N ukupan broj mernih tačaka na odgovarajućoj liniji, r_n rastojanje od merne tačke n , a r_0 referentno rastojanje koje iznosi 1 m. Postupak proračuna i merenja je isti za sve definisane linije u prostoru. Vrednosti parametara za dobre i loše akustičke uslove date su u sledećoj tabeli.

TABELA I. VREDNOSTI PARAMETARA ZA DOBRE I LOŠE AKUSTIČKE USLOVE U OPEN PLANE OFFICE

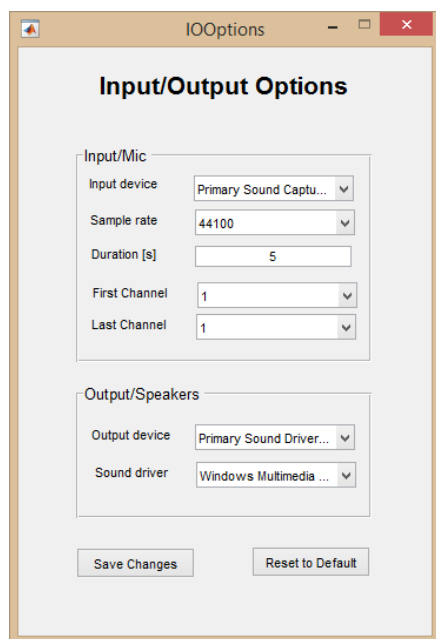
Naziv parametra	$D_{2,S}$	$L_{p,A,S,4m}$	r_D
Loši akustički uslovi	< 5 dB	> 50 dB	>10 m
Dobri akustički uslovi	< 7 dB	< 48 dB	< 5 m

III. REALIZACIJA SOFTVERA ZA PRORAČUN AKUSTIČKIH PARAMETARA

Za analiziranje i ocenjivanje akustičkog kvaliteta jedne kancelarije potrebno je povezati merni mikroskop i zvučni izvor sa računarom i izvršiti merenje uz pomoć softvera koji je tema ovog rada. Proračun akustičkih parametara moguće je izvršiti odmah nakon obavljenog merenja u svakoj tački. Pre početka merenja potrebno je odrediti i postaviti parametre merenja, i to u nekoliko kategorija. Pojedinačna podešavanja biće prikazana u nastavku ovog poglavlja.



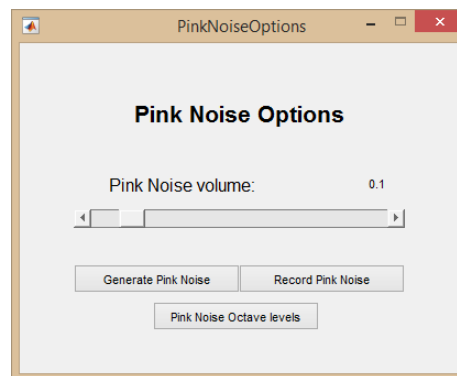
Slika 1. Izgled dela korisničkog interfejsa za podešavanje parametara



Slika 2. Izgled prozora za podešavanje parametara AD konvertora

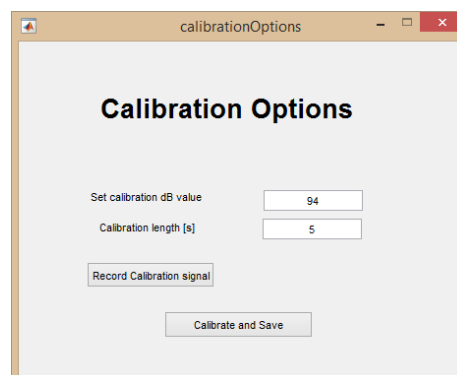
Na slici 1 prikazan je deo korisničkog interfejsa softvera. U ovom delu interfejsa nalazi se lista opcija za podešavanja, kao što je prikazano na slici 1. Potrebno je u prozoru *I/O Options* definisati osnovne parametre kao što su frekvencija odabiranja, trajanje reprodukovanja roze šuma, kao i definisanja ulazno-izlaznih parametara, kao što su redni broj ulaznih i izlaznih kanala AD konvertora. Prozor za podešavanje ovih parametara prikazan je na slici 2.

U prozoru *Pink Noise Options* nalaze se funkcije za generisanje sekvence roze šuma, kao i mogućnost reprodukcije i snimanja istog sa ciljem provere nivoa tog signala po oktavama. Izmereni nivo mora biti u svim tačkama dovoljno veći u odnosu na nivo ambijentalne buke.



Slika 3. Izgled prozora za podešavanje signala za emitovanje

Podešavanje bez kojeg je nemoguće verodostojno izvršiti merenje nalazi se u prozoru *Calibration Options*. Izgled prozora prikazan je na slici 4. Potrebno je izvršiti kalibraciju celokupnog sistema, kako bi dobijene vrednosti u proračunu bile tačne. Kalibracijom se obezbeđuje određivanje apsolutnih nivoa zvučnog pritiska na mestu merenja. Na merni mikroskop je potrebno postaviti kalibrator [5] i uneti u polje vrednost nivoa zvučnog pritiska na izlazu kalibratora, u decibelima. Zatim definisati vremensko trajanje kalibracije i pokrenuti snimanje. Odmah po završetku snimanja, nakon potvrde, sistem je kalibrisan i spreman za rad.

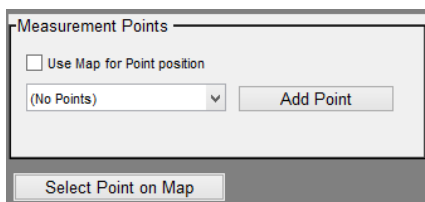


Slika 4. Izgled prozora za kalibraciju sistema

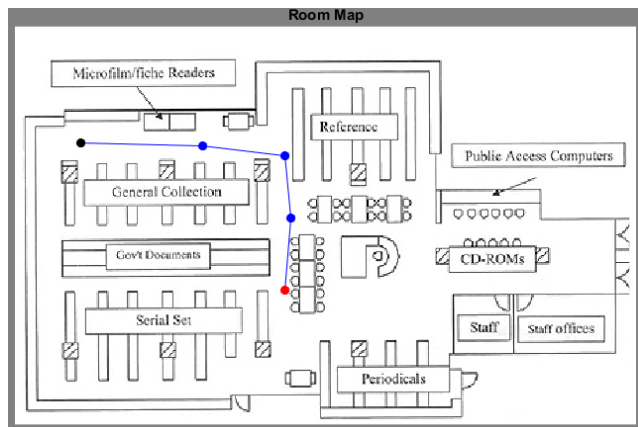
Poslednje podešavanje koje je potrebno obaviti nalazi se u prozoru *IR Options* i ono je vezano za način snimanja impulsnog odziva koji se koristi pri izračunavanju *STI*

parametra. Merenje impulsnog odziva moguće je izvršiti primenom MLS signala [14-15] ili *sweep* signala [16], tako što se definiše trajanje signala i broj usrednjavanja, tj. ponavljanja procedure. Impulсни odziv se dobija kao dekonvolucija snimljenog signala usled reprodukcije sweep signala i samog *sweep* signala [16].

Nakon obavljenog podešavanja sistema, moguće je definisati odgovarajuće merne tačke i linije. Pre toga je potrebno učitati osnovu prostorije koja se analizira pomoću opcije iz padajućeg menija *Tools* pod imenom *Add Room* i definisati njene dimenzije, širinu i dužinu, u metrima. Kada je prostorija uspešno dodata, može se preći na definisanje prve merne linije opcijom *Add Line* iz istog padajućeg menija. Linija se dodaje prazna i otvara se novi panel sa opcijama za dodavanje novih mernih tačaka u odgovarajuću mernu liniju. Tačka se dodaje pritiskom na dugme *Add Point*, a njene koordinate se mogu zadati na dva načina, ručnim unosom koordinata ili aktivacijom opcije *Use Map for Point position*. Ova opcija omogućava se odabir pozicije tačke na mapi pomoću kursora. Izgled dela softvera za dodavanje mernih pozicija prikazan je na slici 5.



Slika 5. Izgled dela korisničkog interfejsa za dodavanje merne pozicije

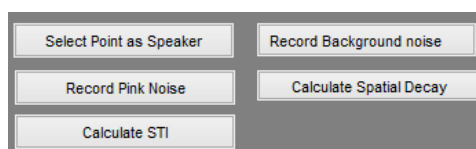


Slika 6. Prikaz pozicija mernih tačaka u prostoriji sa ucrtanom linijom merenja

Program koristi boje kao način obeležavanja odgovarajućih tačaka. Tačka je prikazana zelenom bojom kada je ta tačka odabrana u padajućem meniju, ili odabrana pomoću odgovarajućih prečica. Sve ostale tačke u tom slučaju su prikazane crvenom bojom. Kada se tačka selektuje, odnosno markira kao tačka u kojoj se nalazi zvučni izvor, prikazuje se crnom bojom. Nakon selekcije, ostale tačke mogu biti prikazane plavom ili crvenom bojom. Ako je u tački već snimljen emitovani roze šum, koji potiče iz zvučnog izvora

lociranog u selektovanoj tački, ta tačka će biti plave boje, dok je u suprotnom crvene boje i označava da odziv tek treba da se snimi.

Kada se na liniju doda odgovarajući broj tačaka, omogućavaju se nove opcije za dalje korake proračuna i merenja. Kao što je navedeno u prethodnom poglavlju, u svakoj tački je potrebno izmeriti nivo buke i to je moguće učiniti pritiskom na dugme *Record Background Noise*. Nakon izvršenog merenja moguće je odbaciti rezultate i ponoviti merenje ili prihvatiti i nastaviti sa proračunom. Pritiskom na dugme *Select Point as Speaker*, trenutno odabrana tačka čije su informacije prikazane u *Point Info* panelu, se označava kao tačka u kojoj je lociran zvučni izvor. Sada je potrebno fizički postaviti izvor na datu poziciju, a zatim mikrofon postaviti na poziciju sledeće tačke u liniji. Mikrofon se mora postaviti u sve preostale tačke u liniji i na svakoj poziciji se meri nivo buke, nivo roze šuma i impulсни odziv nakon čega se automatski proračunava STI u toj mernoj tački.



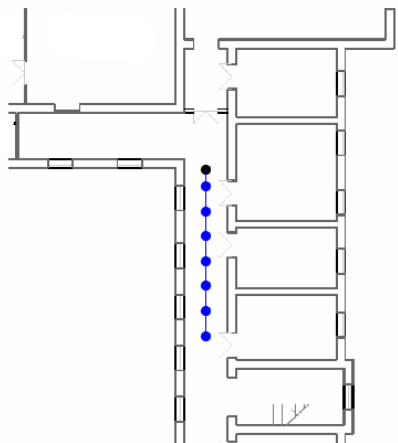
Slika 7. Tasteri za merenje svih potrebnih parametara u svakoj tački

Kada je merenje obavljeno u svakoj od tačaka merne linije, moguće je proračunati prostorno opadanje govora $D_{2,s}$. Tačke u kojima nije izvršeno merenje mogu se uočiti na šemi, jer nisu označene plavom bojom, dok u padajućem meniju za izbor merne tačke pored njihovog imena stoji naznaka (*). Kada se izračuna prostorno opadanje govora za jednu tačku, potrebno je preći na sledeću i odabrati nju kao tačku u kojoj je pozicioniran zvučni izvor. Nije potrebno vršiti merenje u tački u kojoj se zvučni izvor već nalazio i za koju je već izvršen proračun jer se smatra da je slabljenje signala približno isto između dve tačke bez obzira na to kod koje se nalazi zvučni izvor, a kod koje mikrofon. Svi signali koji se snime, čuvaju se u folderu koji je prethodno određen od strane korisnika, i mogu se iskoristiti kao podaci za ponovljena izračunavanja ili neku drugu vrstu istraživanja. Pored toga, pamte se i svi relevantni podaci kao što su nivoi ambijentalne buke, prostorno opadanje glasa i STI.

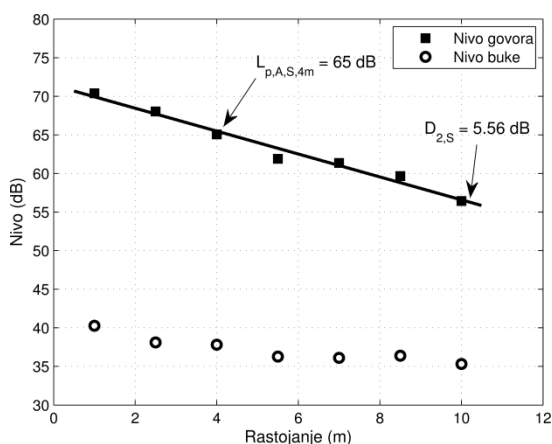
IV. UPOTREBE SOFTVERA ZA PRORAČUN AKUSTIČKIH PARAMETARA

Da bi se verifikovao ispravan rad softvera realizovano je jedno merenje u realnim uslovima. Merenje je realizovano u Laboratoriji za Akustiku Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu. Jedan deo laboratorije u kom sede zaposleni realizovan je kao *open plane office* sa 9 radnih mesta. Za snimanje signala korišćen je mikrofon *MiniSPL Measurement Microphone* [17] i zvučne karte *Steinberg UR22* [18]. Za pobudu prostorije korišćen je neusmereni merni zvučnik [19]. Merenje je vršeno u osam tačaka koje čine pravu liniju. Prikazani rezultati se odnose na situaciju kada je zvučni izvor lociran u prvoj tački (označena crnom bojom) kao na slici 8. U svakoj sledećoj tački vršena su merenja (označeno plavom

bojom) i računanja parametara na način opisan u drugom poglavlju. Razmak između mernih tačaka je 1.5 metar, a rastojanje između zvučnika i prve merne tačke iznosi 1 metar.



Slika 8. Prikaz i pozicija tačaka na mapi analizirane prostorije

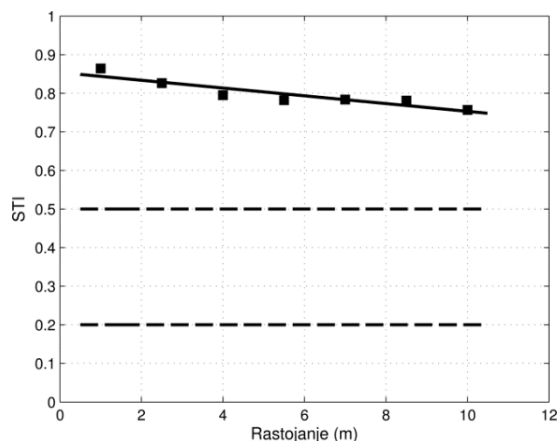


Slika 9. Grafik opadanja nivoa govora sa porastom rastojanja

Na slici 9. prikazan je grafik prostorne zavisnosti nivoa govora, dobijenog merenjem nivoa roze šuma u svakoj tački. Vrednost izmerenog roze šuma, po odgovarajućim oktavama, je skalirana A-težinskim koeficijentima i zatim preračunata srednja vrednost za odgovarajuću tačku. Na osnovu nivoa govora u pojedinim tačkama izračunata je optimalna prava kako bi se mogao odrediti nagib opadanja nivoa. Sa grafika se jasno primećuje opadanje nivoa govora sa povećanjem distance od izvora zvuka. Takođe, na istom grafiku prikazan je i nivo ambijentalne buke u svakoj tački, koji se ne menja značajno u različitim tačkama. Sve vrednosti prikazane na ovom grafiku su od značaja pri proračunu važnog parametra $D_{2,S}$. Vrednost ovog parametra u decibelima prikazana je na grafiku. Analizirajući dobijenu vrednost $D_{2,S}=5.56$ dB, na osnovu Tabele 1, ova prostorija poseduje dobre akustičke uslove.

Na grafiku sa slike 10. prikazana je vrednost STI parametra u svakoj tački koja je dobijena analizom snimljenog impulsnog odziva prostorije u datoj tački. Kao što se može zapaziti na grafiku ove vrednosti se kreću između 0 i 1, i u ovoj prostoriji indeks prenosa govora ima visoku vrednost. Vrednost ovog

parametra je od značaja za proračun dva bitna parametra za ocenu akustičkog kvaliteta prostorije, rastojanje distrakcije i rastojanje privatnosti.



Slika 10. Grafik indeksa prenosa govora izmerenog u svakoj tački

U analiziranoj prostoriji, ni u jednoj tački indeks prenosa govora nije imao vrednost od 0.2, kao ni od 0.5. Zbog toga nije moguće izračunati vrednost parametra distrakcije i privatnosti. Posmatranjem linearne prave provučene kroz izmerene vrednosti indeksa prenosa govora dobija se da vrednost ovog parametra padne ispod 0.5 tek na 35 metara od izvora, dok ona padne ispod 0.2 na 65 metara od izvora. Analiziranjem ovih vrednosti dolazi se do zaključka da akustički dizajn ove prostorije ne zadovoljava uslove *open-plan* kancelarija. Kako bi se ostvario pogodniji rezultat, potrebno je dodatno oslabiti nivo prostiranja govora između tačaka određenom akustičkom intervencijom. Analizirani prostor ne predstavlja *open-plan* tip kancelarije, niti je dizajniran za te potrebe, pa je ovakav rezultat bio očekivan.

V. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazana je realizacija softvera za merenje akustičkih parametara u *open-plane* prostorima. Način merenja i ocene kvaliteta prostora propisan je standardom i vrši se pomoću više uređaja. Realizovani softver značajno pojednostavljuje proces merenja i samog izračunavanja parametara pre svega smanjenjem broja potrebnih hardverskih komponenti. Automatizovani postupak izračunavanja parametara korišćenjem softvera omogućava uštedu vremena korisnika za samo merenje i za obradu rezultata. Za merenje su potrebni samo zvučni izvor, mikrofoni, zvučna kartica i računar. Kao rezultat merenja korisnik dobija detaljan izveštaj sa relevantnim parametrima koji se koriste za ocenu akustičkog komfora u *open-plane* prostorima. Dodatno, softver čuva sve rezultate merenja, kao što su snimljeni signali i izračunati parametri, koji se mogu koristiti i za neka druga istraživanja. U radu je detaljno predstavljena realizacija softvera, kao i primer merenja pomoću softvera u jednom prostoru, kako bi se verifikovao ispravan rad softvera. U budućim istraživanjima koja se tiču ocene kvaliteta akustičkog komfora ovaj softver biće korišćen kao alat za analizu velikog broja prostora ovog tipa.

LITERATURA

- [1] Bradley, J.S. The acoustical design of conventional open plan offices. *Can. Acoust.* 2003, 31(2), pp. 23-31
- [2] ISO 3382-3, Acoustics — Measurement of room acoustic parameters — Open plan offices, 2012.
- [3] ISO 3743-1, Acoustics — Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure — Engineering methods for small movable sources in reverberant fields — Part 1: Comparison method for a hard-walled test room
- [4] ISO 3743-2, Acoustics — Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure — Engineering methods for small, movable sources in reverberant fields — Part 2: Methods for special reverberation test rooms
- [5] ISO 3745, Acoustics — Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure — Precision methods for anechoic rooms and hemi-anechoic rooms
- [6] ANSI S 3.5-1997 (R 2007), Methods for the calculation of the speech intelligibility index
- [7] Hongisto, V. A model predicting the effect of speech of varying intelligibility on work performance. *Indoor Air* 2005, 15(6), pp. 458-68
- [8] Chu, W.T., Warnock, A.C.C. Measurements of sound propagation in open offices. Ottawa: National Research Council Canada, Institute for Research in Construction, 2002. (IRC Internal Report IR-836.) Available (viewed 2011-12-21) at: <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/obj/irc/doc/pubs/ir/ir836/ir836.pdf>
- [9] Houtgast, T., Steeneken, H.J.M. A review of the MTF concept in room acoustics and its use for estimating speech intelligibility in auditoria. *J. Acoust. Soc. Am.* 1985, 77(3), pp. 1069-1077
- [10] Guidance on computer prediction models to calculate the speech transmission index for BB93. Version 1.0. Department for Education and Skills, Schools Capital and Building Division, 2004
- [11] Virjonen, P., Keränen, J., Hongisto, V. Determination of acoustical conditions in open plan offices — Proposal for new measurement method and target values. *Acta Acust. Acust.* 2009, 95, pp. 279-290
- [12] ANSI S1.11: „Specification for Octave, Half-Octave, and Third Octave Band Filter Sets”, 49 CFR 227, jun 2009.
- [13] Jones, D.M., Macken, W.J. Auditory babble and cognitive efficiency — Role of number of voices and their location. *J. Exp. Psychol. Appl.* 1995, 1, pp. 216-226
- [14] A. Mitra: On the Properties of Pseudo Noise Sequences with a Simple Proposal of Randomness Test, *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Scholarly and Scientific Research and Innovation*, Vol. 2, No .9, 2008, pp. 631 – 636.
- [15] Schroeder, M.R. Modulation transfer functions: Definition and measurement. *Acustica* 1981, 49, pp. 179-182
- [16] A. Farina, „Simultaneous Measurement of Impulse Response and Distortion With a Swept-Sine Technique”, Presented at the 108th Convention, Paris, France, February 19-22 2000.
- [17] Tehnička dokumentacija proizvođača, dostupno na mreži: <http://www.nti-audio.com/Portals/0/data/en/MiniSPL-Measurement-Microphone-Product-Data.pdf>, pristupano 20.1.2019.
- [18] Tehnička dokumentacija proizvođača, dostupno na mreži: http://download.steinberg.net/downloads_hardware/UR22/UR22_documentation/UR22_OperationManual_en.pdf, pristupano 20.1.2019.
- [19] Tehnička dokumentacija proizvođača, dostupno na mreži: <https://www.bksv.com/en/products/transducers/acoustic/sound-sources/omni-power-light-4292>, pristupano 20.1.2019.

ABSTRACT

This paper presents a realization of software for measurement and estimation of quality of acoustic design in open-plane offices. Measurement method is defined by standard and it should be done in a large number of differently positioned points in order to measure and determine acoustic quality of surroundings of as many workstations as possible. This software significantly simplify the whole process of analyzing open-plan offices, because all measured signal processing is being done in the moment of measuring. Beside that, it allows storing of measured signals and parametric values, which can be of importance for further analysis or repeated calculations. On the other hand, it leads to reduction of necessary hardware elements for completing a whole analysis. All you need for measuring is sound source, microphone, sound card and computer. As a result, user gets a detailed report about characteristics of analysed office space and descriptive mark which depends on values of calculated parameters.

SOFTWARE FOR MEASURING ACOUSTICS PARAMETERS IN OPEN PLANE OFFICE

Aleksandar Stevanović, Miloš Bjelić, Tatjana Miljković,
Miomir Mijić