

Mogućnosti poboljšanja zvučnog komfora u *Open plan* prostoru sa specifičnim ograničenjima

Tatjana Miljković, Miloš Bjelić, Dragana Šumarac Pavlović, Miomir Mijić

Apstrakt— Problem obezbeđivanja zvučnog komfora u radnim prostorijama otvorenog tipa (*Open Plan Office*) u poslednjih 15 godina spada u važne inženjerske i projektantske teme. Zvučni komfor podrazumeva zadovoljavanje više aspekata, kao što su zaštita privatnosti i zaštita od uznemiravanja između ljudi koji rade u istom prostoru. Standardom ISO 3382-3 iz 2012. godine definisana je metodologija merenja i vrednovanja zvučnog komfora u prostorima ovakvog tipa. Željene karakteristike akustičkog kvaliteta u prostoriji se mogu postići sa nekoliko standardnih intervencija, poput ugrađivanja apsorpcionih materijala na plafon i bočne zidove, postavljanje slobodno visećih apsorbera ili pravljjenjem barijera između radnih mesta sa odgovarajućim izolacionim i apsorpcionim karakteristikama. U mnogim situacijama postoje određena arhitektonska rešenja koja onemogućavaju apliciranje svih potrebnih formi u enterijeru. U ovom radu su na primeru jednog prostora sa ograničenim mogućnostima za intervencije u enterijeru analizirani pojedinačnih dometi različitih intervencija. Prikazana analiza sprovedena je na bazi početnih merenja u objektu i simulacijama različitih mogućih intervencija u enterijeru.

Ključne reči— akustički dizajn, indeks privatnosti, ISO 3382-3, open plan office, zvučni komfor

I. UVOD

Šezdesetih godina prošlog veka dvojica nemačkih proizvođača nameštaja, Eberhard i Wolfgang Schnelle, osmislili su koncept *Open plan* kancelarija. One se mogu definisati kao mesta gde veći broj ljudi radi u fizički jedinstvenom prostoru. Autori su smatrali da princip otvorene kancelarije ima nekoliko pogodnosti, poput bolje komunikacije i protoka informacija među kolegama i između različitih odeljenja iste firme, a takođe i uštede prostora usled uklanjanja hodnika [1]. Poslednjih 15 godina ovakvi tipovi radnog prostora su sve više rasprostranjeni. U domenu projektovanja odlikuje ih fleksibilnost prostorne organizacije, mogućnost racionalizacije veličine radnih prostora i jednostavnost u prilagođavanju trenutnim potrebama rada.

Tatjana Miljković – Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: tm@etf.rs).

Miloš Bjelić – Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: bjelic@etf.rs).

Dragana Šumarac Pavlović – Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: dsumarac@etf.rs).

Miomir Mijić – Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: emijic@etf.rs).

Open plan kancelarije imaju i svoje nedostatke u domenu komfora, jer u njima zaposleni trpe uticaj aktivnosti drugih osoba koje su u istom okruženju. U tome je pored privatnosti, najugroženiji zvučni komfor zbog ometanja zvukom. Ometanje nastaje zvukovima koji dolaze iz okruženja i dovoljno su glasni i razumljivi da utiču na koncentraciju zaposlenih i njihovu efikasnost u radu. Problemi nastali usled nedostatka zvučnog komfora ne baziraju se samo na žalbama usled povećanih nivoa buke, već su povezani i sa različitim negativnim ishodima poput nezadovoljstva poslom i radnim okruženjem [2,3] i smanjenom produktivnošću [4]. Zbog toga dizajn enterijera *open plan* kancelarija pored fleksibilnosti, funkcionalnosti i estetike mora obezbediti i dovoljno visok nivo zvučnog komfora.

Zvučni komfor u *open plan* prostorima u kojima radi veći broj ljudi podrazumeva istovremeno postizanje nekoliko ciljeva. Oni su uslovljeni prirodom posla koji se obavlja u prostoru, kao i brojem prisutnih ljudi. U situacijama u kojima zaposleni istovremeno komuniciraju sa klijentima ili međusobno, moraju biti zadovoljeni sledeći uslovi:

- prihvatljivi ukupan nivo zvuka u prostoriji koji omogućava održavanje koncentracije
- ostvareni uslovi privatnosti, odnosno dovoljno veliki poluprečnik distrakcije koji obezbeđuje što manje preslušavanje između različitih radnih mesta
- smanjen indeks prenosa govora između različitih radnih mesta
- kvalitetan prijem i slanje audio signala sa lokacija na kojima se komunikacija uspostavlja putem internet mreža.

Navedeni uslovi se postižu merama u domenu enterijerskih intervencija i izborom odgovarajućeg elektroakustičkog sistema za maskiranje. Najčešće enterijerske mere koje se primenjuju u cilju poboljšanja zvučnog komfora su:

1. uvođenje velikih apsorpcionih površina, pre svega na plafonu, ali i na slobodnim vertikalnim površinama i bočnim zidovima,
2. postavljanje barijera koje sprečavaju direktne putanje zvuka između pojedinih radnih mesta,
3. postavljanje apsorpcionih površina na barijerama u zoni direktnog zvuka svakog izvora.

Da bi se postigli dobri akustički uslovi u *open plan* kancelarijama potrebno je kombinovati navedene intervencije u enterijeru. Ukoliko bi se kao rešenje usvojilo samo uvođenje velikih apsorpcionih površina, time bi se smanjilo vreme reverberacije u prostoriji i ukupni nivo

zvuka kao posledica većeg broja izvora zvuka u prostoru, ali sa druge strane snižavanjem nivoa zvuka ostvaruju se uslovi za postizanje razumljivosti na većim distancama što ugrožava privatnost. Takođe, postavljanjem barijera utiče se na direktne putanje zvuka između pojedinih radnih mesta i time doprinosi smanjenju razumljivosti, ali se onda postavlja pitanje da li postavljanje barijera narušava inicijalni koncept *open plan* kancelarija.

U mnogim situacijama do rešavanja problema vezanih za zvučni komfor dolazi u etapi kada nije moguće izvesti klasične enterijerske intervencije. Takođe, nekada arhitektonska ograničenja samog prostora onemogućavaju apliciranje potrebnih formi u enterijeru, te je neophodno sprovesti optimizaciju rešenja. U ovom radu na primeru konkretnog prostora prikazane su i analizirane moguće intervencije u cilju poboljšanja zvučnog komfora. Prikazana analiza sprovedena je na osnovu početnih merenja u odabranom objektu i simulacijama različitih mogućih intervencija za zadati prostor.

Rad je organizovan kako sledi. U drugom poglavlju prikazani su akustički parametri važni za *open plan* kancelarije i postavka merenja u jednom konkretnom slučaju koji je analiziran u ovom radu. U narednom poglavlju prikazani su eksperimentalni rezultati i diskusija dobijenih rezultata. Na kraju su izneti zaključci do kojih se došlo u ovom istraživanju.

II. METODOLOGIJA

A. Akustički parametri *open plan* kancelarija

Akustički kvalitet *open plan* kancelarije kvantifikuje se sa nekoliko numeričkih parametara definisanih standardom ISO 3382-3 [5]. Detaljne odrednice za realizaciju merne procedure i određivanje parametara definisanih standardom mogu se naći u drugim standardima [6-9]. Parametri koji su definisani, a potrebno ih je izračunati su:

- prostorna raspodela nivoa zvučnog pritiska govora težinovanog sa A-krivom [10]. 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 m, u oznaci $L_{p,A,S,4m}$.
- indeks prenosa govora STI (*Speech Transmission Index*) [11], 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.
- distanca ometanja r_D , predstavlja rastojanje od izvora na kojem STI opadne ispod vrednosti od 0.5 i izražava se u metrima [12], [13].
- distanca privatnosti r_P , predstavlja rastojanje od izvora na kojem STI opadne ispod vrednosti od 0.2 i izražava se u metrima [12], [13].
- nivo buke težinovan A-krivom $L_{p,A,B}$, predstavlja nivo zvučnog pritiska buke koja je prisutna u prostoriji za vreme radnog vremena bez osoblja.

Navedeni parametri, koji ne predstavljaju jednobrojne vrednosti, računaju se po oktavnim opsezima od 63 Hz do 8000 Hz [14]. Za procenu akustičkog komfora u *open plan* kancelarijama, od navedenih 8 parametara, najčešće se koriste sledeća 4 i to: brzina prostornog opadanja govora $D_{2,s}$, nivo zvučnog pritiska govora težinovanog sa A-krivom na rastojanju od 4 m $L_{p,A,S,4m}$, distanca ometanja r_D i nivo buke težinovan A-krivom $L_{p,A,B}$. Na osnovu Aneksa A standarda ISO 3382-3 formirana je tabela sa graničnim vrednostima pomenutih parametara pomoću koje će se izvršiti kategorizacija akustičkih uslova u *open plan* kancelarijama na dobre i loše.

TABELA I
VREDNOSTI PARAMETARA ZA DOBRE I LOŠE AKUSTIČKE USLOVE U *OPEN PLAN* KANCELARIJAMA

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

B. Opis eksperimentalne postavke

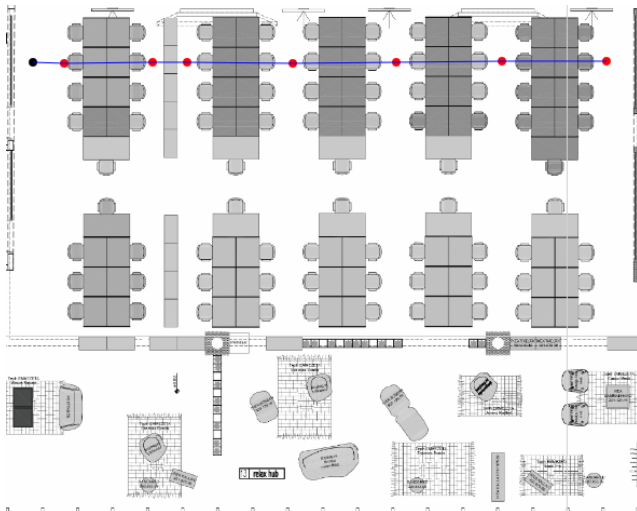
Eksperimentalna postavka ovog rada predstavlja jednu *open plan* kancelariju u kojoj nije moguće izvršiti klasične enterijerske intervencije poput postavke apsorpcionih materijala na plafon. Za ovaj prostor je karakteristično i to da u njemu radi veliki broj ljudi na relativno skućenim radnim mestima, koja se stoga ne mogu dodatno smanjivati dodavanjem izolacionih ili apsorpcionih materijala. Takođe, zbog velikog broja radnih jedinica na malom prostoru nije moguće izvršiti intervenciju u vidu postavljanja vertikalnih barijera, jer bi to ugrozilo glavni prolaz kroz kancelariju, kao i sam koncept *open plan* prostora. Na Slici 1 prikazana je analizirana *open plan* kancelarija.



Sl. 1 Izgled analizirane „*open plan*“ kancelarije

Merenje je izvršeno prateći proceduru opisanu standardom ISO 3382-3 i to u dve linije merenja, od kojih je jedna trasirana duž bočnog zida prostorije, a druga predstavlja dijagonalu od jednog do drugog kraja prostorije. Na Slici 2 prikazana je jedna linija merenja. Crvenim krugovima označena su mesta na kojima je postavljan mikroskop, a crnim krugom je označeno mesto gde se nalazio zvučnik. Prilikom merenja prostorija mora biti prazna, bez prisustva ljudi, ali sa kompletnim nameštajem. Sve osobe,

osim lica odgovornih za vršenje merenja, moraju biti van prostorije, kako bi bilo moguće sagledati akustički kvalitet prostorije u najnepovoljnijoj situaciji. Pokazalo se da prisustvo ljudi dovodi do poboljšanja rezultata pri oceni akustičkih kvaliteta prostorije, jer utiču na prostiranje zvuka tako što poseduju određeni koeficijent apsorpcije [15]. Takođe, 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.



Sl. 2. Prikaz pozicija mernih tačaka u prostoriji

Merenje je izvršeno pomoću softvera za merenje parametara *open plane* kancelarija [16, 17], mernog mikrofona [18] i omnidirekcionog zvučnika [19]. Pri merenju ispoštovane su preporuke za rastojanja mikrofona, i to od stolova bar 0.5 m i najmanje 2 m od zidova i većih refleksionih površina. Takođe, mikrofoni i zvučni izvori postavljeni su na visinu od 1.2 m, što predstavlja prosečnu visinu ušiju čoveka koji sedi za stolom. U svakoj crvenoj tački sa slike 2 izmerena su ili izračunata 4 parametra: nivo zvučnog pritiska roze šuma u oktavnim opsezima, STI, nivo buke u oktavnim opsezima i rastojanje od zvučnog izvora. Na osnovu datih podataka izvršena je evaluacija prostora i predložene su određene enterijerske intervencije.

III. EKSPERIMENTALNI REZULTATI I DISKUSIJA

Na osnovu izvršenog merenja i izračunatih parametara stekao se uvid u zatečeno stanje analizirane *open plan* kancelarije. Parametri koji opisuju zatečeno stanje su: brzina prostornog opadanja govora $D_{2,s}$, nivo zvučnog pritiska govora težinovanog sa A-krivom na rastojanju od 4 m $L_{p,A,S,4m}$ i vreme reverberacije na srednjim frekvencijama. Vrednosti parametara su navedeni respektivno: 4.09 dB, 53.6 dB i 1.28 s. Ukoliko se vrednosti parametara $D_{2,s}$ i $L_{p,A,S,4m}$ uporede sa preporučenim vrednostima iz Tabele I za dobre i loše akustičke uslove, može se zaključiti da kancelarija spada u *open plan* kancelarije sa lošim akustičkim uslovima. Takav rezultat je i očekivan s obzirom da u navedenom prostoru ne postoji nikakva akustička obrada.

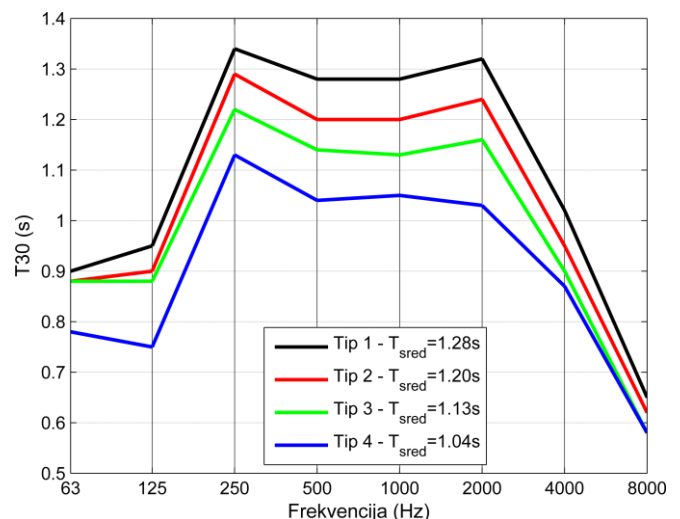
Kako bi se predložilo adekvatno rešenje akustičkog dizajna za pomenutu kancelariju napravljena je simulacija sa tri moguće enterijerske intervencije. Simulacije su

implementirane u Odeonu, softveru za akustički dizajn prostorija. Kako bi se simulacija mogla koristiti izvršeno je trimovanje softverskog modela tako da se analizirani parametri poklapaju za slučaj merenja u zatečenom stanju i softverskog modela prostorije. Tipovi intervencija koji su implementirani u softveru su:

- Tip 1: zatečeno stanje
- Tip 2: postavljane apsorpcione ploče na postojeće grede dimenzija 10 m x 0.6 m x 0.3 m
- Tip 3: kao Tip 2 sa dodatom apsorpcijom na bočnom zidu dimenzija 19 m x 2.2 m
- Tip 4: kao Tip 3 sa dodatim apsorpcionim materijalom visine 0.3 m na postojećim pregradama na stolovima.

Na slikama 3, 4, i 5 prikazani su grafici vremena reverberacije T30 u zavisnosti od frekvencije, parametar STI u zavisnosti od distance i nivo zvučnog pritiska govora težinovanog sa A-krivom na rastojanju od 4 m u zavisnosti od distance, respektivno.

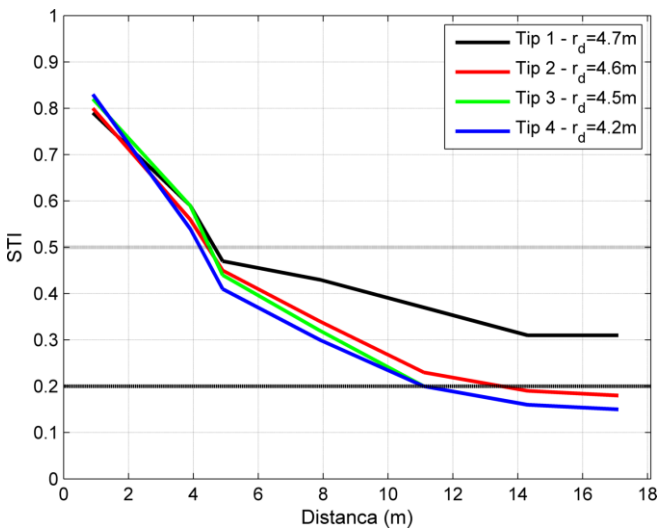
Prvi korak ka poboljšanju zvučnog komfora u prostoru je napravljen postavljanjem apsorpcionog materijala na četiri postojeće grede na plafonu. U ovom konkretnom prostoru nije bilo moguće izvršiti klasičnu intervenciju sa spuštenim plafonom i postavljanjem apsorpcionih ploča duž celog plafona, zbog postojanja radnog i dekorativnog svetla nepravilnog oblika. Sa slike 4 se može uočiti da je vrednost distance ometanja smanjena i iznosi 4.6 m. Takođe, sa slike 5 se može uočiti da je vrednost nivoa zvučnog pritiska na rastojanju od 4 m opala za 2 dB. Iako usled akustičke intervencije tipa 2 vrednost distance ometanja upada u okvire dobrih akustičkih uslova iz Tabele I, nivo zvučnog pritiska na rastojanju od 4 m i dalje ne zadovoljava preporučene granice.



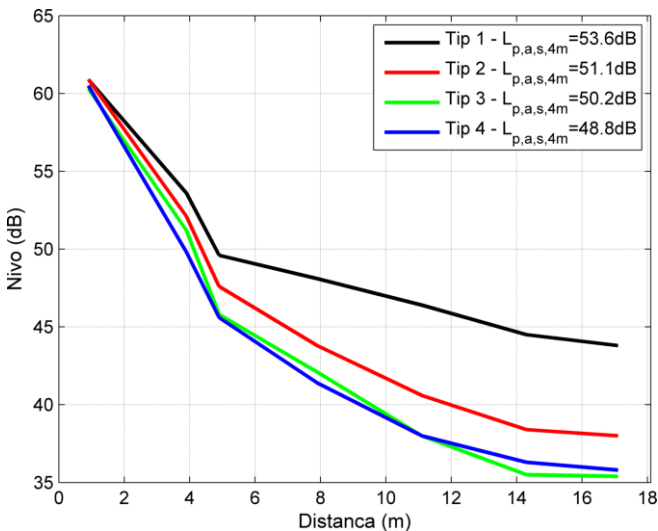
Sl. 3. Frekvencijska zavisnost vremena reverberacije za 4 tipa akustičke obrade

Intervencija tipa 3 podrazumevala je i dodatno apliciranje apsorpcionog materijala celom dužinom bočnog zida pored već obloženih greda na plafonu. Uvođenje apsorpcije na bočnom zidu dovelo je do smanjenja refleksija od bočnog zida ka radnim mestima zaposlenih. Sa slike 3 može se uočiti trend opadanja vremena reverberacije apliciranjem u prostoru veće količine apsorpcionog materijala. Takođe, na osnovu slike 5 uočava se da nivo zvučnog pritiska na 4 m

iznosi 50.2 dB, što još uvek predstavlja veću vrednost od propisane za dobre akustičke uslove.



Sl. 4. Vrednost parametra STI za usvojenu mernu liniju i 4 tipa akustičke obrade



Sl.5. Vrednost nivoa zvučnog pritiska težinovanog A-krivom na rastojanju od 4 m za usvojenu mernu liniju i 4 tipa akustičke obrade

Intervencija tipa 4 kao dodatak na intervenciju tipa 3 ima apsorpcioni materijal dodat na postojećim pregradama na stolovima. Pregrade koje postoje na stolovima su od iverice kroz koju je transmisija zvuka neizbežna. Njihova visina iznosi 0.5 m, te dodavanje apsorpcionog materijala visine 0.3 m na pregradu ne narušava koncept *open plan* kancelarije jer je ostvarena vidljivost zaposlenog sa ostatkom prostorije. Aplikiranje apsorpcije na stolove, koji predstavljaju zonu direktnog zvuka svakog potencijalnog izvora, doprinelo je smanjenju ukupne zvučne energije koja se prostire kroz ceo prostor. Sa slike 4 se može uočiti da je vrednost distance ometanja u odnosu na zatečeno stanje opala za 0.5 m. Kao posledica akustičke obrade tipa 4 postignut je odgovarajući nivo zvučnog pritiska na rastojanju od 4 m i njegova vrednost iznosi 48.8 dB. Na osnovu slike 3 može se uočiti da je vreme reverberacije opalo na vrednost od 1 s, što predstavlja optimalnu granicu za vrednost vremena reverberacije prostora ove zapremine. Prevelikim smanjenjem vremena reverberacije može doći do kontra efekta, jer se time postiže da se udaljeni govor čuje

veoma jasno što direktno utiče na povećanje distance ometanja.

Kako akustički dizajn *open plan* kancelarija ne predstavlja jednodimenzionalni problem pored prethodno analiziranih parametara, postoje još dva parametra na osnovu kojih se može utvrditi akustički kvalitet *open plan* kancelarije, a to su brzina prostornog opadanja govora $D_{2,S}$ i distanca privatnosti r_p . U Tabeli II prikazane su njihove vrednosti za sva četiri tipa akustičke obrade datog prostora.

TABELA II
VREDNOSTI PARAMETARA PROSTORNOG OPADANJA GOVORA I DISTANCE PRIVATNOSTI

	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Tip 4
$D_{2,S}$ (dB)	4.09	5.69	6.1	6.25
r_p (m)	/	13.8	11	11

Na osnovu vrednosti iz Tabele II za parametar prostornog opadanja govora $D_{2,S}$ može se zaključiti da i nakon apliciranja akustičke intervencije tipa 4 dati parametar neće premašiti vrednost koja odgovara dobrim akustičkim uslovima *open plan* prostora. Zadovoljavajući rezultat u slučaju brzine prostornog opadanja bi bio ostvaren jedino postavljanjem vertikalnih stojećih barijera između dva susedna reda stolova. U ovom slučaju takva intervencija nije moguća zbog veličine samog prostora, a direktno se suprostavlja inicijalnom konceptu *open plan* kancelarija. Vrednosti parametra distance privatnosti za slučaj tipa 1 bez akustičke obrade ne postoji, jer u pomenutom prostoru vrednost STI nikad neće dostići vrednosti manju ili jednaku 0.2. Na osnovu nepromenjene vrednosti distance privatnosti za tipove 3 i 4 može se zaključiti da to predstavlja optimalan rezultat za konkretan prostor, jer se dužina od 11 m nalazi otprilike na sredini dužine celog prostora. Tumačenje vrednosti r_p od 11 m u ovom konkretnom slučaju je to da zaposleni koji sede u prvom redu neće svojim govorom ometati svoje kolege koje sede tek u petom redu.

IV. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazane su različite mogućnosti za poboljšanje zvučnog komfora u jednom posmatranom *open plan* prostoru sa nekim specifičnim ograničenjima. Na osnovu parametara definisanih standardom ISO 3382-3 sprovedena je analiza datog prostora, kao i analiza različitih enterijerskih intervencija u cilju poboljšanja akustičkog kvaliteta prostora. Pomoću softvera za merenje parametara *open plan* kancelarija izvršeno je merenje na osnovu kog je tumačeno zatečeno stanje u objektu. Analiza relevantnih parametara *open plan* kancelarija izvršena je na osnovu implementiranih simulacija četiri tipa akustičke obrade prostora. Simulacije su izvršavane u softveru za akustički dizajn prostorija. S obzirom da akustički dizajn *open plan* kancelarija ne predstavlja jednodimenzionalni problem sprovedena je komparativna analiza 6 parametara za sve tri predložene građevinske intervencije. Najbolje performanse *open plan* kancelarije su ostvarene apliciranjem akustičke obrade pod nazivom tip 4. Akustička obrada tipa 4 podrazumeva intervenciju u vidu postavljanja apsorpcionog materijala na: grede na plafonu, bočni zid i postojeće pregrade na stolovima. Pokazano je da iako svaki parametar za sebe predstavlja validan deskriptor za akustički kvalitet

prostora, neophodno je posmatrati združeno dejstvo minimum tri parametra i to: vreme reverberacije na srednjim frekvencija, distancu ometanja i vrednost nivoa zvučnog pritiska težinovanog A-krivom na rastojanju od 4 m. Dok se parametri kao što su brzina prostornog opadanja govora $D_{2,S}$ i distanca privatnosti r_P mogu koristiti kao korekcionni ili validacioni faktori sprovedenog akustičkog dizajna u prostoru.

ZAHVALNICA

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

LITERATURA

- [1] Hundert, A.T., & Greenfield N.(1969). Physical space and organizational behavior: A study of an office landscape. *Proceedings of the 77th Annual Convention of the American Psychological Association (APA)*
- [2] Sundstrom E, Town JP, Rice RW, Osborn DP, Brill M., Office noise, satisfaction and performance. *Environ Behav* 1994; 26:195-222.
- [3] Haapakangas A, Helenius R, Keskinen E, Hongisto V. Perceived acoustic environment work performance and well-being-survey results from Finnish offices. In: 9th International congress on noise as a public health problem (ICBEN); July 2008.p. 21-5.
- [4] Banbury SP, Berry DC. Office noise and employee concentration: identifying causes of disruption and potential improvements. *Ergonomics* 2005; 48: 25-37
- [5] ISO 3382-3, Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Open plan offices, 2012.
- [6] 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
- [7] 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
- [8] 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
- [9] ANSI S 3.5-1997 (R 2007), Methods for the calculation of the speech intelligibility index
- [10] 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
- [11] 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
- [12] Hongisto, V. A model predicting the effect of speech of varying intelligibility on work performance. *Indoor Air* 2005, 15(6), pp. 458-68
- [13] 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

- [14] ANSI S1.11: „Specification for Octave, Half-Octave, and Third Octave Band Filter Sets”, 49 CFR 227, jun 2009.
- [15] 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)
- [16] Stevanović, M. Bjelić, T. Miljković, M. Mijić, Softver za merenje akustičkih parametara u prostorima open plane kancelarija, 18th International Symposium INFOTEH-JAHORINA, 20-22 March 2019, 178-183, ISBN 978-99976-710-2-8
- [17] Stevanović, M. Bjelić, T. Miljković, M. Mijić, Software for Measuring Acoustic Parameters in Open-plan Offices, *International Journal of Electrical Engineering and Computing*, Vol. 3, No. 2, 2019, 45-53, DOI 0.7251/IJEEC1902045S.
- [18] Tehnička dokumentacija proizvođača, dostupno na mreži: <http://www.nti-audio.com/Portals/0/data/en/MiniSPL-Measurement-Microphone-Product-Data.pdf>, pristupano 28.7.2020.
- [19] Tehnička dokumentacija proizvođača, dostupno na mreži: <https://www.bksv.com/en/products/transducers/acoustic/sound-sources/omni-power-light-4292>, pristupano 28.7.2020.

ABSTRACT

The problem of providing acoustic comfort in open plan workplaces (Open Plan Office) in the last 15 years is one of the important engineering and design topics. Acoustic comfort involves satisfying multiple aspects, such as protecting privacy and protecting against harassment between different entities working in the same space. The standard ISO 3382-3 from 2012 defines the methodology for measuring and evaluating acoustic comfort in spaces of this type. The desired characteristics of acoustic quality in the room can be achieved with several standard interventions in the space, such as installing absorbent materials on ceilings, side walls, installing free-hanging absorbers or creating barriers with appropriate insulation and absorption characteristics between workplaces. In many situations, there are certain architectural solutions that make it impossible to apply all the necessary forms in the interior. In this paper, on the example of one space with limited possibilities for interior interventions, the ranges of different individual interventions are analyzed. The presented analysis was performed on the basis of initial measurements in the building and simulations of various possible interventions in space.

Possibilities of improving acoustic comfort in Open plan space with specific limitations

Tatjana Miljković, Miloš Bjelić, Dragana Šumarac Pavlović, Miomir Mijić