

Određivanje akustičkih parametara prostorije korišćenjem klapne kao zvučnog izvora

Aleksandra Kojčinović, Marija Tupanjanin i Miloš Bjelić

Apstrakt—Ovaj rad je baziran na proceni drvene klapne kao generatora zvučnog impulsa za merenje impulsnog odziva prostorije. Cilj je ispitivanje mogućnosti klapne kao alternativnog izvora u uslovima kada nije moguće koristiti standardni omnidirekcionni zvučnički sistem. Merenje se zasniva na poređenju impulsnih odziva prostorije usled udarca klapne i sekvence maksimalne dužine (*eng. Maximum-Length Sequence, MLS*) reprodukovane putem zvučnika. Analizirane su osobine ova dva signala poput: vremena reverberacije, vremenskog i spektralnog oblika signala, raspodele energije i interauralnog koeficijenta kros-korelacije. Dobijeni rezultati pokazuju odstupanja klapne manja od $\pm 5\%$ na opsegu 250 Hz–4 kHz, a ispod od $\pm 10\%$ na 63 Hz–8 kHz. Odatle se može zaključiti da je klapnu moguće koristiti umesto zvučničkog sistema u određenim uslovima, a prednost je nezavisnost od dodatne opreme i izvora napajanja, kao i manje dimenzije i težina, te lakša prenosivost.

Ključne reči—impulsni odziv, klapna, MLS, vreme reverberacije.

I. UVOD

Ukoliko se prostorija posmatra kao linearan, vremenski invarijantan sistem prenosa između zvučnog izvora i prijemnika, tada se pri njegovom modelovanju mogu primeniti pojedini postulati iz oblasti obrade signala i teorije upravljanja. U takvim sistemima impulsni odziv predstavlja izlaz sistema kada se na njegov ulaz dovede pobudna impulsne prirode (Dirakov impuls), kratkog trajanja i beskonačno velike energije, koji ravnomerno pobuđuje čitav frekvencijski opseg. Na osnovu njega se može izračunati odziv sistema na pobudni signal bilo koje učestanosti, što ima značaja pri predviđanju reakcije prostorije pobuđene zvucima različitog spektralnog sadržaja. Značaj impulsnog odziva u akustici ogleda se u tome što se iz njega mogu proceniti parametri koji opisuju akustičke osobine određene prostorije i tako kvantifikovati doživljaj zvuka u njoj. Kako nije fizički izvodljivo generisati trenutni zvučni impuls beskonačne energije, pribegava se upotrebi različitih izvora zvuka koji mogu emitovati signal velike amplitude i što kraćeg trajanja. Standard prema kome se vrše akustička merenja (ISO 3382) propisuje da nivo impulsa bude bar 45 dB iznad nivoa ambijentalne buke [1]. Takođe, od interesa je podjednako pobuditi sve tačke unutar prostorije da bi merenje bilo što

opštije, tako da se zahteva minimalna usmerenost izvora. Neki od mogućih impulsnih izvora su startni pištolj, petarda, pucanje balona, drvena klapna, pljesak dlanova i slični mehanički izvori navedeni u [2]. Njihovi nedostaci ogledaju se u povećanoj usmerenosti usled konstrukcije i dimenzija (cev startnog pištolja [3]), kao i loše ponovljivosti zbog fizičkih fenomena stohastičke prirode, kao što su povlačenje materijala prilikom pucanja balona [4] ili kvalitet petarde [5]. Dodatno, neki izvori nisu u stanju da pobude podjednako i niske frekvencije jer je ukupna energija kratkih impulsa mala u odnosu na energiju ambijentalnog šuma [6, 7].

Drugi način za generisanje pobudnog impulsa je emitovanje determinističkog signala sa zvučničkog sistema koji je oblika dodekaedra, ali razmatraju se i druga geometrijska tela [8]. Često ovi sistemi teže i do 20 kg zbog specifičnog materijala i količine zvučnika. Ovakvom konstrukcijom se postiže umanjenje usmerenosti, a ponovljivost se obezbeđuje pogodnim izborom signala i njegovih statističkih osobina. U zavisnosti od načina produkcije impulsa, metode za merenje impulsnog odziva se dele na direktne i indirektne. Indirektne metode su preciznije u proceni, ali je ponekad zbog nedostupnosti izvora napajanja i težine opreme pogodnije direktno merenje.

Tema ovog rada je analiza mogućnosti drvene klapne iz [6] kao generatora impulsa za merenje impulsnog odziva prostorije. Analiza je sprovedena poređenjem rezultata dobijenih na osnovu klapne sa vrednostima dobijenim korišćenjem dodekaedralnog zvučnika. Cilj ovakvog istraživanja je ispitivanje mogućnosti korišćenja jednostavnog i portabilnog izvora, koji ne zahteva električno napajanje. Prednost njegovog korišćenja ogleda se u efikasnijem i jeftinijem terenskom merenju, s obzirom da prisustvo zvučnika sa sobom nosi specifične prohteve za transport usled dimenzija i težine, kao i potrebu za dodatnim uređajima za konverziju, pojačanje i akviziciju signala. U slučaju merenja u objektima smeštenim u ruralnim oblastima ovi zahtevi često predstavljaju ograničenje.

U sekciji II ovog rada definisani su osnovni parametri korišćeni za analizu i opisani zvučni izvori u pogledu usmerenosti, dinamičkog opsega i ponovljivosti. Zatim je u sekciji III prikazana postavka merenja, a razmatranje ponovljivosti klapne, poređenje spektralnog i vremenskog oblika, kao i nekih osnovnih parametara koji govore o vremenu reverberacije, dati su u sekciji IV. Tu je takođe poređena raspodela energije unutar odziva, kao i koeficijent interauralne kros-korelacije. Na osnovu toga je u sekciji V zaključeno da se klapna može koristiti u akustičkim merenjima kao alternativa omnidirekcionom zvučniku.

Aleksandra Kojčinović – Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar Kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: ka223249m@student.etf.bg.ac.rs).

Marija Tupanjanin – Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar Kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: tm223184m@student.etf.bg.ac.rs).

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

II. METODOLOGIJA

Jedan od značajnih parametara kojima je opisana prostorija je vreme reverberacije (T_{60}), a predstavlja vreme za koje nivo zvuka opadne za 60 dB u odnosu na nivo direktnog zvuka. Za njegovo računanje neophodno je postići dinamiku od minimum 60 dB, što najčešće nije moguće, pa se umesto toga računaju drugi parametri iz kojih se ono estimira.

EDT (eng. *Early Decay Time*) – vreme za koje relativni nivo opadne od 0 dB do -10 dB, predstavlja rano vreme reverberacije i bolje odgovara subjektivnom doživljaju reverberantnosti prostorije,

- T_{10} – vreme za koje nivo opadne od -5 dB do -15 dB,
- T_{20} – vreme za koje nivo opadne od -5 dB do -25 dB,
- T_{30} – vreme za koje nivo opadne od -5 dB do -35 dB.

Ove vrednosti se očitavaju sa krive integrisanog impulsnog odziva (Šrederove krive) u zavisnosti od toga kolika je merljiva dinamika, skaliraju odgovarajućim faktorom i na taj način vrši procena T_{60} . Pri analizi u ovom radu su posmatrani EDT i T_{30} pomnoženi faktorima 6 i 3, respektivno.

Pored T_{30} i EDT, iz impulsnog odziva se mogu ekstrahovati i parametri koji dodatno pružaju informacije o zvučnoj slici unutar prostorije. Ti parametri omogućavaju uvid u unutrašnju strukturu impulsnog odziva i posmatrajući raspodelu energije donekle kvantifikuju subjektivni doživljaj zvuka u prostoru. Energija predstavlja kvadrat amplitude zvučnog pritiska na mestu prijemnika. U zavisnosti od namene prostorije, uopšteno se definiše parametar koji se naziva jasnoća (C_{80}) i predstavlja odnos rane i kasne energije unutar odziva. Granica između rane i kasne energije bira se zavisno od namene prostorije. Konkretno, prostorija u kojoj smo izvršile merenje namenjena je za predavanja živog govornika, pa smatramo da je granica 50 ms, a u slučaju prostorije za slušanje muzike ona iznosi 80 ms. Drugi parametar od interesa za posmatranu prostoriju naziva se definisanost (D_{50}), prikazuje odnos rane i ukupne energije i korelisan je sa razumljivošću govora u prostoriji. Dodatno, formiranje zvučne slike kod slušaoca poprilično zavisi od međusobnog odnosa signala koje percipira levim i desnim uhom. Na osnovu toga uvodi se faktor interauralne kros-korelacije (eng. *Interaural Cross-Correlation Coefficient*, IACC) koji predstavlja meru sličnosti zvuka na levoj i desnoj strani. Vrednost kros-korelacije normirana standardnom devijacijom kreće se u opsegu [-1, 1], gde -1 predstavlja koherenciju levog i desnog signala, ali u protiv fazi, +1 idealno podudaranje, dok 0 označava da signali nisu u korelaciji. IACC se zatim dobija kao maksimum apsolutne vrednosti normirane kros-korelacije. Male vrednosti govore da je izvor bliži jednom uhu u odnosu na drugo, a vrednosti bliske jedinici se dovode u vezu sa pokrivenošću prostorije zvukom [9]. Tako se IACC može koristiti za opis prostorne percepcije zvuka i pružiti dodatne mogućnosti koje se mogu uzeti u obzir pri analizi zvučnih izvora.

A. Direktna merena metoda

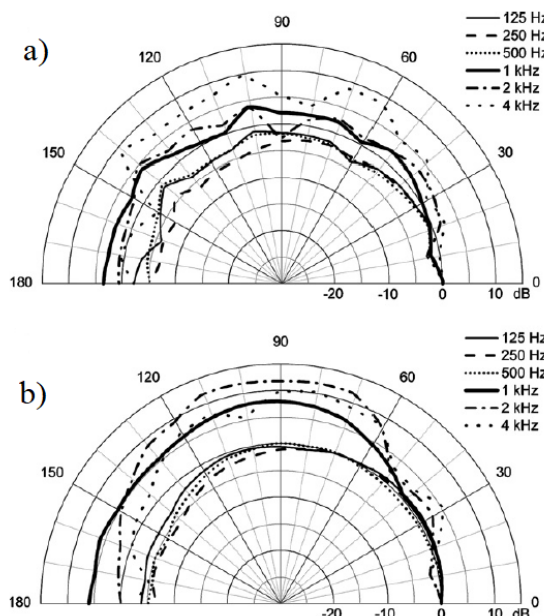
Izvor korišćen za mehaničko generisanje impulsa je drvena klapna konstruisana prema [6]. Klapna se sastoji od dve

identične drvene celine dimenzija 30 cm×13.5 cm spojene metalnom šarkom na jednom kraju (Sl. 1) i teži približno 2 kg. Ovakva konstrukcija omogućava da se celine ručno pribliju jedna uz drugu i generišu zvučni impuls.



Sl. 1. Drvena klapna iz [6]

Razmatranjem osobina klapne kao generatora impulsa primećujemo da se za frekvencije do 1 kHz klapna ponaša kao tačkasti izvor, dok se na višim frekvencijama ispoljava usmerenost usled dimenzija same klapne, koje su reda veličine ili veće od talasnih dužina zvuka. Dijagram usmerenosti govori da maksimalne vrednosti generisanog signala na opsegu do 500 Hz variraju za ± 3 dB, dok na višim učestanostima odstupaju za ± 5 dB (Sl. 2). To pokazuje da je uniformnost radijacije zvuka klapne povoljnija u odnosu na druge izvore za direktno merenje odziva [2].



Sl. 2. Usmerenost klapne merena u anechoičnoj prostoriji: a) u frontalnoj ravni, b) u medijalnoj ravni [6]

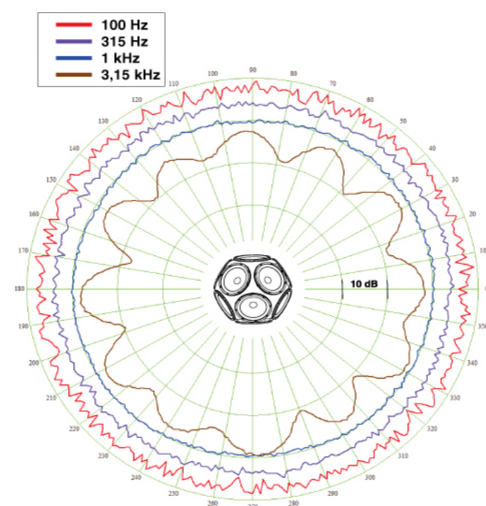
Ponovljivost merenja sprovedenih upotrebom ovakvog izvora je relativna i zavisi od utreniranosti osobe koja manipuliše klapnom. Za deset ponovljenih merenja iz literature koje izvodi ista osoba, odstupanja su 1-2 dB u opsegu od interesa.

Eksperiment izveden u literaturi pokazuje da je dinamički opseg odziva zadovoljavajući u granicama 250 Hz–8 kHz u

urbanim sredinama, dok na nižim učestanostima može pasti ispod zahtevanog nivoa zbog prisustva ambijentalne buke, što rezultuje malim odnosom signal - šum.

B. Indirektna merna metoda

Merenje indirektnom metodom izveli smo upotrebom zvučnog sistema koji se sastoji od 12 zvučnika ugrađenih u stranice dodekaedra. Ovakav sistem spada u standardnu opremu za merenje impulsnog odziva prostorije i koristi se kad god uslovi to dozvoljavaju. Njegova usmerenost se može smatrati uniformnom u opsegu učestanosti do 1 kHz, dok se na višim frekvencijama primećuju odstupanja (Sl. 3).



Sl. 3. Karakteristika usmerenosti

Indirektnost ove merne metode ogleda se u tome što se putem zvučnika ne generiše direktno zvuk kratkog trajanja i velike energije, koji bi približno modelovao Dirakov impuls, zbog prevencije potencijalnog oštećenja zvučnih membrana usled prevelike sile. Umesto toga, sa zvučnika se pušta signal određenog trajanja i predstavlja ulaz u sistem kojim se modeluje prostorija. Odziv u prijemnoj tački snimljen mikrofonom je izlaz iz sistema i može se prikazati u formi konvolucije ulaznog signala i impulsnog odziva prostorije. Ukoliko su poznati i pobuda i odziv, može se sračunati njihova kros-korelacija, kao i autokorelacija ulaznog signala. Jednostavnim matematičkim smenama, kros-korelacija postaje konvolucija autokorelacione funkcije pobudnog signala i impulsnog odziva prostorije. Dovođenjem signala ravnog spektra na ulaz sistema, čija je autokorelacija Dirakov impuls, kros-korelaciona funkcija postaje ekvivalentna impulsnom odzivu prostorije [10].

Neki od pogodnih signala koji se koriste u praksi su sekvenca maksimalne dužine (eng. *Maximum length sequence*, MLS) i sweep signal, linearno (LSS) ili eksponencijalno (ESS) vremenski promenljive frekvencije. Prednost ove metode je što signal ima određeno vremensko trajanje, za razliku od impulsa generisanog nekim od izvora za direktno merenje, pa je ukupna energija poslata iz izvora veća. Deterministička priroda pobudnog signala garantuje ponovljivost izvora i omogućava usrednjavanje impulsnih

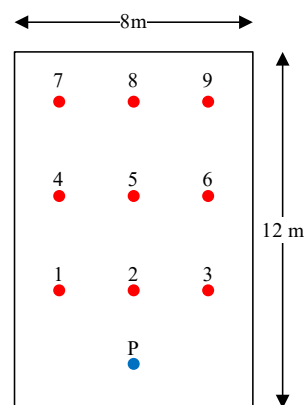
odziva, što povoljno utiče na dinamički opseg [11].

U merenju sprovedenom za potrebe ovog rada korišćen je MLS signal dužine 2.37 s, sa tri sekvence za usrednjavanje. On je okarakterisan osobinama belog šuma – ima ravan amplitudski spektar i stohastički fazni spektar. Priroda faznog spektra utiče na uklanjanje neželjenih komponenti poput govora i drugih smetnji koje nisu od značaja za impulsni odziv, tako što i njihov fazni spektar čini stohastičkim, pa se u dekonvolutivnom odzivu i one vide kao beli šum.

III. EKSPERIMENTALNA POSTAVKA

Prostorija u kojoj su izvedena merenja je učionica 59 na Elektrotehničkom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Zapremina učionice iznosi približno 400 m³, te se može smatrati prostorijom srednje zapremine. Procena impulsnog odziva izvršena je na osnovu dva različita izvora zvuka: drvene klapne i zvučnog sistema oblika dodekaedra.

Izvor smo postavili u deo učionice u blizini katedre, a snimanje je izvršeno u devet različitih tačaka (prema rasporedu prikazanom na Sl. 4) neusmerenim mikrofonom [12], koji je putem zvučne kartice [13] povezan na laptop računar. Izgled učionice i objekata u njoj dat je na Sl. 5.



Sl. 4. Prikaz pozicija izvora i prijemnika



Sl. 5. Prikaz merne opreme u učionici

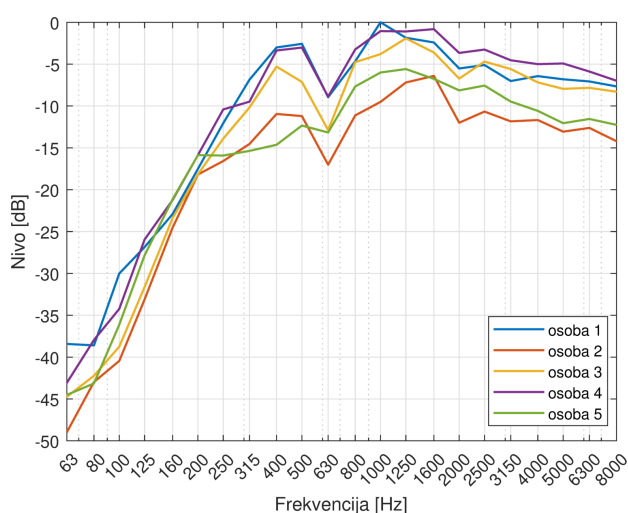
Softverski paket Dirac upotrebljen je za beleženje, ekstrakciju impulsnog odziva pri indirektnoj metodi i računanje parametara iz odziva po oktavama. Podaci su zatim učitani u programsko okruženje Matlab za dodatnu obradu i vizuelizaciju.

U narednoj sekciji prikazana je uporedna analiza impulsnog odziva dobijenog upotrebom klapne i MLS sekvence. Rezultati koji slede dobijeni su uzimanjem odziva na MLS sekvencu kao referentne vrednosti i služe za razmatranje klapne u ulozi izvora zvučnog impulsa.

IV. PRIKAZ REZULTATA

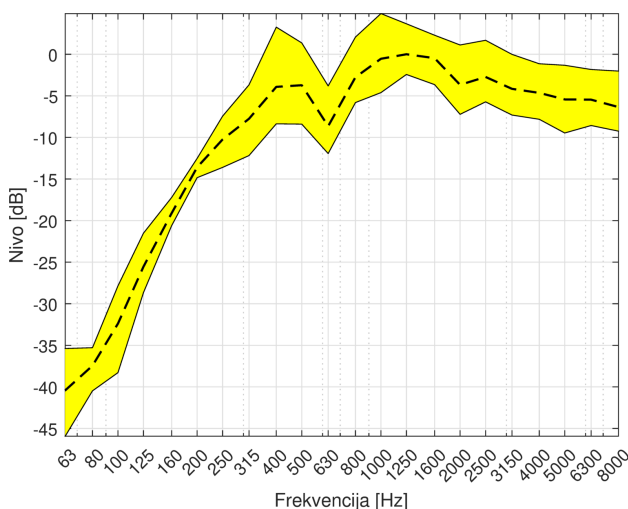
A. Ponovljivost merenja pomoću klapne kao izvora

Tokom izrade ovog rada razmatrali smo ponovljivost snimanjem impulsnog odziva klapne kada su impuls generisale različite osobe, različitog pola i fizičke građe (Sl. 6)



Sl. 6. 1/3 oktavni spektar impulsnog odziva klapne za 5 različitih osoba

Za pet različitih osoba koje su učestvovalе u eksperimentu, oblik globalnog 1/3 oktavnog spektra je veoma sličan. Najveća varijabilnost se ogleda u samom nivou signala koji zavisi od primenjene sile u toku udarca (Sl. 7).

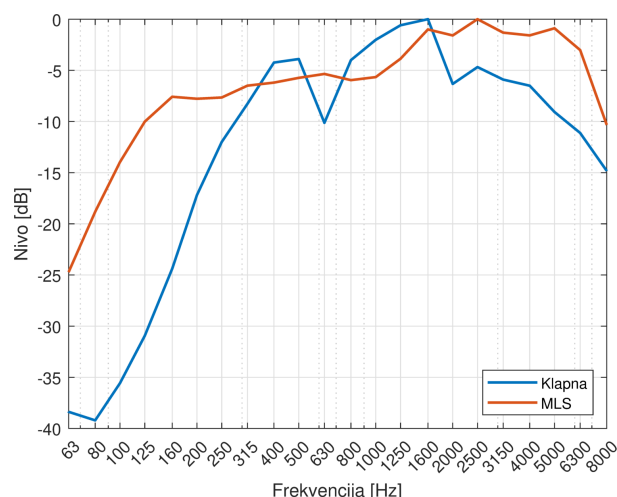


Sl. 7. Maksimalna odstupanja nivoa po 1/3 oktavama u odnosu na usrednjenu vrednost merenja svih osoba

Računjem maksimalnih odstupanja u odnosu na usrednjenu vrednost svih pet merenja stiže se informacija o opsegu promene nivoa po 1/3 opsezima. Na nižim učestanostima su promene u nivou od ± 1 dB do ± 4 dB, dok iznad 1 kHz nivo varira u proseku od ± 3 dB do ± 6 dB.

B. Globalni spektar

Signali iz softvera Dirac-a učitani su u Matlab i propušteni kroz banku filtera kako bi se preveli u 1/3 oktavni spektar. Usrednjavanjem nivoa izmerenog u 9 tačaka dobijene su krive date na Sl. 8. Prikazane vrednosti normalizovane su na sopstvene maksimume i služe za uvid u oblik spektra impulsnog odziva od dva različita izvora. Maksimumi odgovaraju dimenzijama pojedinačnih izvora.

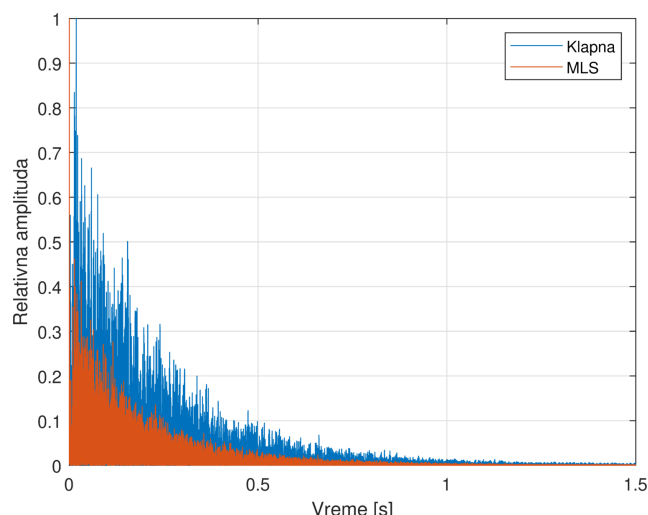


Sl. 8. Prikaz usrednjenih 1/3 oktavnih spektara

Sa grafika se vidi da je spektar MLS signala približno ravan u opsegu od 125 Hz do 4 kHz, dok kod klapne postoji značajan pad ispod 250 Hz. Kao što je ranije rečeno, ovo je posledica prisustva ambijentalnog šuma na niskim učestanostima i male ukupne energije kratkotrajnog impulsa što rezultuje uskim dinamičkim opsegom signala. Ukoliko se merenja vrše u ruralnim zonama, daleko od kolovoza i drugih izvora buke, moguće je ostvariti zahtevanu dinamiku čak i na 125 Hz [6], no u većini analiza opseg od interesa je upravo 250 Hz–8 kHz na kome klapna postiže zadovoljavajuć nivo.

C. Oblik impulsnog odziva

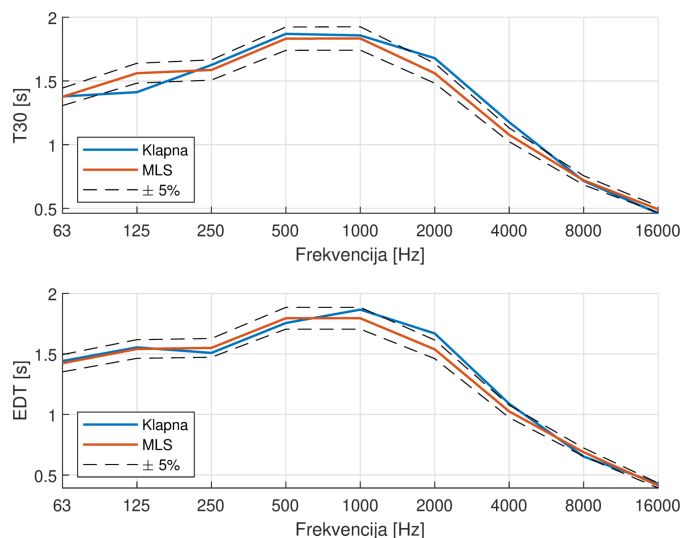
Karakteristična osobina klapne je duže vremensko trajanje impulsnog odziva u odnosu na druge izvore impulsa, kao što je prikazano na Sl. 9. Sam vremenski oblik impulsnog odziva klapne predstavlja posledicu unutrašnjeg reverberantnog procesa koji se odvija usled mehaničkog udara. Taj proces traje nekoliko milisekundi, tako da nema uticaja na validnost merenja vremena reverberacije koje je dva reda veličine veće [6]. Ova pojava utiče na to da vrednosti parametara dobijenih na osnovu klapne budu veće u odnosu na MLS.



Sl. 9. Uporedni unipolarni prikaz vremenskog oblika impulsnog odziva

D. Procena vremena reverberacije

Softverski paket Dirac nudi podatke o vremenu reverberacije dobijenom skaliranjem EDT i T30, te će se ove oznake nadalje odnositi na vrednost tako procenjenog T60. U ovoj sekciji T30 i EDT dobijeni su kao srednja vrednost rezultata dobijenih iz 9 mernih tačaka. Na Sl. 10 prikazano je poređenje usrednjenih vrednosti T30 i EDT kada je impuls generisan na različite načine. Isprekidanim linama označene su margine $\pm 5\%$ u odnosu na referentnu MLS krivu.

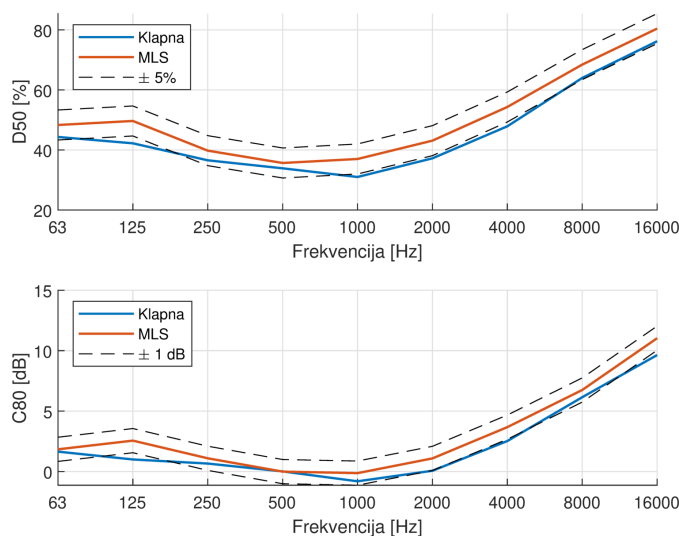


Sl. 10. Uporedni prikaz usrednjenih vrednosti EDT i T30

Kako je trajanje impulsnog odziva klapne duže, očekuju se i veće vrednosti vremena reverberacije u odnosu na MLS, što je i primetno na većem delu krive. Ipak, na grafiku T30 vidi se propad na 125 Hz koji govori da nivo direktnog zvuka generisanog klapnom opada brže nego za MLS. To se može pripisati činjenici da klapna slabije pobuđuje niske frekvencije, te je merenje manje precizno. Ipak, u opsegu 250 Hz–1 kHz odstupanja klapne u odnosu na MLS su manja od 4% i mogu se smatrati zanemarljivim. Iznad 2 kHz greška je manja od 9%, tako da se rezultati mogu smatrati zadovoljavajućim.

E. Unutrašnja struktura impulsnog odziva

Posmatranjem parametara D50 i C80 može se numerički opisati subjektivni doživljaj zvuka u prostoriji, zavisno od raspodele energije. Uzimajući u obzir da postoji prag primetnosti razlike (eng. *Just-noticeable difference*, JND) ispod kog ljudsko uho ne registruje promene D50 u opsegu $\pm 5\%$, niti promene nivoa C80 manje od ± 1 dB, može se analizirati odstupanje klapne u odnosu na MLS u tom pogledu [14]. Ukoliko parametri odstupaju manje od odgovarajućeg JND, slušalac neće biti u stanju da odredi koji izvor je generisao zvuk [15]. Na Sl. 11 prikazan je trend D50 i C80 u odnosu na odgovarajuće JND računane prema referentnom MLS signalu.



Sl. 11. Uporedni prikaz usrednjenih vrednosti D50 i C80

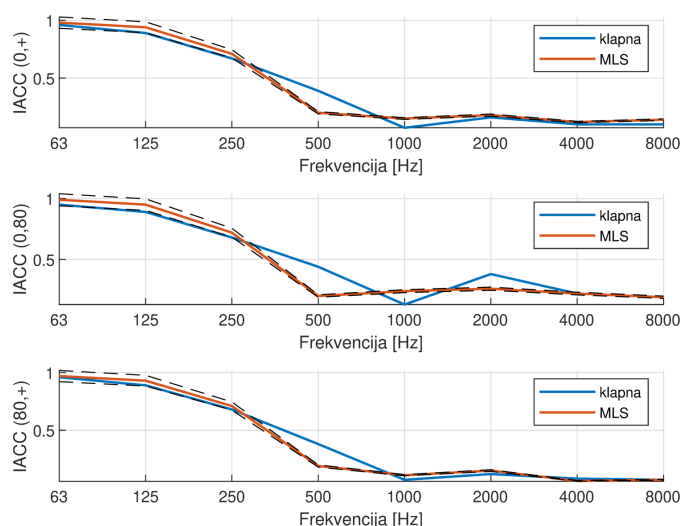
Vidljivo je odstupanje na 125 Hz kod oba parametra, koje odskae u odnosu na ostale učestanosti i može se ponovo dovesti u vezu sa preciznošću merenja usled male dinamike.

Posmatranjem krive D50, primećujemo da se vrednosti nalaze unutar opsega primetnosti samo na 250 Hz i 500 Hz, dok na svim ostalim izlaze van opsega, mada ne više od 6.5%.

Sa druge strane, C80 ostaje u granicama na učestanostima većim od 250 Hz. Imajući to u vidu, klapna bi se mogla koristiti kao adekvatna zamena MLS signala u prostorijama gde je jasnoća od većeg interesa nego razumljivost.

F. Interauralni koeficijent kros-korelacije

Kako bismo dodatno analizirale mogućnosti klapne kao izvora impulsa, sprovele smo binauralno snimanje impulsnih odziva postavljanjem slušaoca sa dva merna mikrofona u tačku 5. Softverski paket Dirac nudi IACC izračunat na osnovu signala dobijenih iz levog i desnog prijemnika. Poređenjem rezultata kada se koristi klapna i u slučaju MLS sekvence (Sl. 12) vidi se da su na frekvencijama manjim od 250 Hz odstupanja manja od $\pm 5\%$. Na tom opsegu IACC klapne je manji u odnosu na MLS, što može biti posledica veće usmerenosti klapne i samim tim manje zvučne pokrivenosti. S druge strane, oba izvora iskazuju usmerenost iznad 1 kHz, što može uticati na procenu.



Sl. 12. Interauralni koeficijent kros-korelacije

Prikazani rezultati računati su na različitim vremenskim prozorima. Prvi grafik se odnosi na IACC računat nad celim signalima, drugi na prvih 80 ms, a treći od 80 ms do kraja. U zavisnosti od toga da li je od interesa rana, kasna ili ukupna energija, ovi parametri mogu dati različite informacije. Najveća razlika među njima primetna je od 500 Hz pa nadalje, a najveća odstupanja klapne se vide u periodu rane energije.

V. ZAKLJUČAK

Rezultati analize u sekciji IV. A, zajedno sa rezultatima iz [6] govore da je ponovljivost klapne u odnosu na MLS signal manja, ali da u zavisnosti od potreba merenja može biti dovoljna. Takođe, razmatranjem globalnog spektra vidi se mogućnost klapne da skoro podjednako pobudi frekvencije 250 Hz–4 kHz, što je u određenim uslovima upravo opseg od interesa. Posmatranjem parametara reverberacije poput EDT i T30 primećuju se odstupanja koja su posledica drugačijeg vremenskog oblika signala klapne u odnosu na MLS. S obzirom da su razlike na učestanostima do 1 kHz manje od $\pm 5\%$, a na višim manje od $\pm 10\%$, klapna se u tom pogledu može smatrati adekvatnom zamenom zvučnika. Dodatnom analizom unutrašnje strukture odziva putem parametara D50 i C80, vide se odstupanja bliska JND pragu i mogu biti neprimetna ljudskom slušaocu. Finalno, razmatranjem IACC vrednosti na različitim delovima signala može se steći uvid u pokrivenost prostorije zvukom koji klapna generiše, što može biti od značaja pri dodatnoj analizi njene usmerenosti. Rezultati ovog merenja pokazuju odstupanja manja od $\pm 5\%$ na delu opsega na kome se klapna smatra neusmerenim izvorom. Svi ovi zaključci govore u prilog tome da se ona u pojedinim situacijama zaista može koristiti kao alternativa zvučničkom sistemu i da pri tome nosi određene tehničke i finansijske pogodnosti.

ZAHVALNICA

Finansiranje ovog rada omogućilo je Ministarstvo nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije pod brojem ugovora: 451-03-47/2023-01/200103.

LITERATURA

- [1] ISO 3382: Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters.
- [2] N. Papadakis, G. Stavroulakis, "Review of Acoustic Sources Alternatives to a Dodecahedron Speaker", *Appl. Sci.* 2019, 9, 3705; doi:10.3390/app9183705
- [3] M. Lamothe, J. Bradley, "Acoustical characteristics of guns as impulse sources", *Canadian Acoustics*, Vol. 13 No. 2, 1985/4
- [4] K. Jambrošić, H. Domitrović, M. Horvat, "Reverberation time measuring methods", *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2008/6, doi: 10.1121/1.2934829
- [5] R. San Martin, M. Arana, J. Machin, a. Arregui, "Impulse source versus dodecahedral loudspeaker for measuring parameters derived from the impulse response in room acoustics", *The Journal of the Acoustical Society of America* 134, 275 (2013)
- [6] D. Šumarc-Pavlović, M. Mijić, H. Kurtović, "A simple impulse sound source for measurements in room acoustics", *Appl. Acoustics* 69 (2008) 378-383
- [7] P. Seetharaman, S. Tarzia, "The Hand Clap as an Impulse Source for Measuring Room Acoustics", *Audio Engineering Society*, 132nd Convention, Budapest, Hungary, 2012/4/26-29
- [8] H. Domitrović, S. Grubeša, M. Horvat, "Design of a new omnidirectional sound source", 3rd Congress of the Alps Adria Acoustics Association, Graz, Austria, 2007/9/27
- [9] A. Avni, B. Rafaely, "Inter Aural Cross Correlation and Spatial Correlation in a Sound Field Represented by Spherical Harmonics", *Ambisonics Symposium*, Graz, 2009/6/25-27
- [10] W.T. Chu, "Impulse-Response and Reverberation-Decay Measurements Made by Using a Periodic Pseudorandom Sequence", *Appl. Acoustics* 29 (1990) 193-205
- [11] G. Stan, J. Embrechts, D. Archambeau, "Comparison of different impulse response measurement techniques", *University of Liege*, Belgium, 2002/12
- [12] Tehnička dokumentacija proizvođača, dostupno na mreži: <http://www.nti-audio.com/Portals/0/data/en/MiniSPL-Measurement-Microphone-Product-Data.pdf>, pristupano 19.6.2021.
- [13] Tehnička dokumentacija proizvođača, dostupno na mreži: http://download.steinberg.net/downloads_hardware/UR22/UR22_documentation/UR22_OperationManual_en.pdf, pristupano 19.6.2021.
- [14] B. Postma, "Serious auralizations", *Univeristy of Paris*, France, 2017/4/28
- [15] M. Prawirasasra, R. Sampurna, Suwandi, "The effect of boundary shape to acoustic parameters", 2016 J. Phys.: Conf. Ser. 776 012068

ABSTRACT

This paper deals with wooden clapper as impulse sound generator in impulse response measurements. The aim is examination of clapper possibilities as an alternative source in cases when using standard omnidirectional loudspeaker is impossible. Measurement is based on a comparison of impulse responses made by clapper and Maximum-Length Sequence (MLS) reproduces by loudspeaker. Analysed features of two signals are: reverberation time, time and spectrum shape, energy distribution and interaural cross-correlation coefficient. Gained results show deviations less than $\pm 5\%$ on 250Hz-4kHz range and less than $\pm 10\%$ on 63 Hz-8 kHz. Thence we conclude that clapper can be used instead of loudspeaker system in certain conditions, with an advantage of independence on additional equipment and power source, as well as smaller dimensions and less weight for easier portability.

Determining acoustical parameters of a room using the wooden clapper as a sound source

Aleksandra Kojčinović, Marija Tupanjanin, Miloš Bjelić