

PROCEEDINGS

IX International Conference IcETLAN
and LXVI ETRAN Conference,
Novi Pazar, Serbia, 6 - 9, June, 2022.

ЗБОРНИК РАДОВА

IX међународне конференције ИцЕТРАН
и LXVI конференције ЕТРАН,
Нови Пазар 6 - 9. јуна 2022. године

PROCEEDINGS IX International Conference IcETRAN and LXVI ETRAN Conference, Novi Pazar, Serbia, 6 - 9, June, 2022.

ЗБОРНИК РАДОВА IX међународне конференције ИцЕТРАН и LXVI конференције ЕТРАН, Нови Пазар 6 - 9. јуна 2022. године

Editor in Charge / Главни уредник
Vladimir Katić / Владимир Катић

Published by / **ETRAN Society, Belgrade, Academic Mind, Belgrade**
Издавачи / **Друштво за ЕТРАН, Београд и Академска мисао, Београд**

Production / Израда
Academic Mind, Belgrade / Академска мисао, Београд

Place and year of publication / Место и година издања
Belgrade, 2022. / Београд, 2022.

Circulation / Тираж
300 copies / 300 примерака

ISBN 978-86-7466-930-3

**ETRAN – Society for electronics, telecommunication,
computing, automatics and nuclear engineering**

**ЕТРАН - Друштво за електронику, телекомуникације,
рачунарство, аутоматику и нуклеарну технику**

Kneza Milosa 9/IV, 11000 Belgrade / Кнеза Милоша 9/IV, 11000 Београд

Phone / Телефон: +381 (11) 3233 957

E-mail / Е-пошта: office@etran.rs

www.etran.rs

ORGANIZERS - ОРГАНИЗАТОРИ

ETRAN Society, Belgrade / Друштво за ЕТРАН, Београд

**State University of Novi Pazar, Novi Pazar, Serbia /
Државни универзитет у Новом Пазару, Нови Пазар, Србија**

**University of Priština temporarily settled in Kosovska Mitrovica, Faculty of
Technical Sciences, Serbia /**

**Факултет техничких наука Косовска Митровица - Универзитет у Приштини са
привременим седиштем у Косовској Митровици**

UNDER THE AUSPICES OF / ПОКРОВИТЕЉ

**Ministry of Education, Science and Technological Development
of the Republic of Serbia /**

Министарство просвете, науке и технолошког развоја републике Србије

SUPPORTED BY / ПОДРШКА

IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers, USA

Power Electronics Society of Serbia / Друштво за енергетску електронику Србије

CIRED Serbia / CIRED Србија

ЗБОРНИК РАДОВА/PROCEEDINGS

ИМПРЕСУМ/IMPRESUM

ACOUSTICS/АКУСТИКА - (AKI/AK)

1

AKI1.1	Recent Advances on Perforated Panels for Sound Absorption Applications <i>Jesus Carbajo, Nicholas Xuanlai Fang and Sang-Hoon Nam</i>	2
AKI1.2	Real-time Speaker Independent Recognition of Bimodal Produced Speech <i>Boris Malčić, Vlado Delić, Jovan Galić and Nebojša Babić</i>	6
AKI1.3	Feature Analysis for Industrial Product Sounds Using Discrete Meyer Wavelet <i>Đorđe Damjanović, Dejan Ćirić and Dejan Vujičić</i>	12
AK1.1	Multidisciplinarnost u istraživanju slike i zvuka u sakralnom prostoru <i>Jelena Erdeljan and Ljubica Vinulović</i>	18
AK1.2	Auralizacija sakralnih prostora i likovni programi: nove perspektive i mogućnosti istraživanja <i>Vuk Dautović and Jakov Đorđević</i>	21
AK1.3	Istraživanje zvučnog ambijenta srpskih sakralnih prostora kao višemedijskog fenomena <i>Miomir Mijić, Miloš Bjelić, Dragana Šumarac Pavlović, Tatjana Miljković and Filip Pantelić</i>	25
AK1.4	O ulozi akustičkih rezonatora u prostoru hrama Svetog Save u Beogradu <i>Dragana Šumarac Pavlović, Miomir Mijić, Jelena Erdeljan and Tatjana Miljković</i>	31
AK2.1	Optimizacija prostorne rezolucije mikrofonskog niza za merenje saobraćajne buke <i>Miodrag Stanojević, Miloš Bjelić and Tatjana Miljković</i>	37
AK2.2	Komparativna analiza akustičkih signala motora sa unutrašnjim sagorevanjem mapiranih u slike bazirane na spektrogramu <i>Marko Milivojević, Emilija Kisić and Dejan Ćirić</i>	41
AK2.3	Koeficijent inharmoničnosti tonova harfe -Specifičnost i problemi automatske procene <i>Tatjana Miljkovic, Miloš Bjelić, Jelena Ćertić and Dragana Šumarac Pavlović</i>	46
AK2.4	Implementacija algoritama za kontrolu usmerenosti zvučničkog niza sa dva glavna loba na otvorenom hardveru <i>Tijana Đorđević, Stefan Ćimović and Miloš Bjelić</i>	52
AK2.5	Optimizacija pozicija zvučnika u zvučničkom nizu <i>Stefan Ćimović, Tijana Đorđević and Miloš Bjelić</i>	58
AK2.6	Realizacija sistema za aktivnu kontrolu buke u cevi na otvorenom hardveru <i>Marija Ratković, Nebojša Kolarić and Miloš Bjelić</i>	63

ANTENNAS AND PROPAGATION/АНТЕНЕ И ПРОСТИРАЊЕ - (API/AP)

69

API1.1	Application of Microwave Imaging for Brain Diagnostics <i>Marija Nikolic Stevanovic, Darko Ninkovic, Tushar Singh, Branislav Ninkovic, Miodrag Tasic and Branko Kolundzija</i>	70
API1.2	Current distribution in a hollow circular conductor influenced by a parallel filament <i>Dragan Filipović and Tatijana Dlabac</i>	75
API1.3	Jamming a Drone - EM Simulation of Simple EW and EW Countermeasures Scenarios <i>Tomislav Milosevic</i>	80
API1.4	Simulation Study of Voxel-Based Head Phantom for Medical Microwave Imaging <i>Mladjen Stevanetic, Branko Kolundzija, Tushar Singh and Marija Nikolic Stevanovic</i>	85
API1.5	Radome Shape Impact on Automotive Radar Sensor Operating at 79 GHz <i>Nebojsa Pupavac and Miodrag Tasic</i>	90
API1.6	Implementing Gradient Model for Surface Roughness in WIPL-D <i>Milan Radović, Aleksandar Golubović and Miloš Jovičić</i>	95
API1.7	The Ability to Minimize a New Type of Moderate-Bandwidth Microwave Filter <i>Dušan Nešić and Tomislav Milošević</i>	99
AP1.1	Uopštenje izraza za transfer funkcije između antena u problemima inverznog rasejanja <i>Anja Kovačević, Marija Nikolić Stevanović and Antonije Đorđević</i>	102

AUTOMATION/АУТОМАТИКА - (AUI/AU)

106

AUI1.1	The Improved GM PHD algorithm for Multi- Target Radar Tracking <i>Zvonko Radosavljevic, Dejan Ivkovic and Branko Kovacevic</i>	107
AUI1.2	Four-Stage Recursive Least Squares Algorithm for CARARMA Systems <i>Nasar Aldian Shashoa, Ahmed J Abougarair, Bduhakim Agll and Abdurrezag Elmezughi</i>	113
AUI1.3	Consensus on the Auxiliary Variables in Distributed Gradient-Based Temporal Difference Algorithms <i>Milos Stankovic, Marko Beko, Nemanja Ilic and Srdjan Stankovic</i>	118
AUI1.5	Arduino based online laboratory platform for digital control systems analysis and design <i>Vladimir Mitić, Vladimir Sibinović, Snežana Đorđević and Boban Veselić</i>	124
AUI2.1	Implementation of the New Curricula in Smart Products and Services Engineering <i>Marko Milojkovic, Dragan Antic, Sasa Nikolich and Nebojsa Jotovic</i>	129
AUI2.2	Denoising the open-loop step response using an encoder-decoder convolutional neural network <i>Natalija Đorđević, Nenad Džamić, Aleksa Stojić and Goran Kvaščev</i>	132

AUI2.3	Single Screw Extruder Temperature Control Using PLC and HMI in Cable Production Process <i>Igor Kocić, Saša Nikolić, Aleksandra Milovanović, Darko Mitić, Petar Đekić and Nikola Danković</i>	137
AU1.1	Upravljanje nivoom vode i pumpama upotrebom SMS poruka <i>Igor Kocić and Zoran Jovanović</i>	143
AU1.2	Application of Subtractive Clustering in Data Processing <i>Boris Barišić, Aleksandra Krstić, Sanja Vujnović and Željko Đurović</i>	148
BIOMEDICAL ENGINEERING/БИОМЕДИЦИНСКА ТЕХНИКА - (BTI/БТ)		153
BTI1.1	AGILIS: Restoring Functional Grasping in Individuals with Tetraplegia using Epineural Electrodes <i>Christine Azevedo, Charles Fattal, Lucie William, Lucas Fonseca, Arthur Haiarrassary, David Andreu, Antoine Geffrier, Jacques Teissier and David Guiraud</i>	154
BTI1.2	A Device for Monitoring Physiological Parameters and Electrotactile Stimulation <i>Bojan Jorgovanović, Matija Štrbac, Miloš Kostić, Vojin Ilić and Nikola Jorgovanović</i>	156
BTI1.3	Deep Neural Network Approach for Artifact Detection in Raw ECG <i>Tanja Boljanić, Jovana Malešević and Goran Kvaščev</i>	160
BTI1.4	Inhibition Potency of Terpyridine Metal Complexes toward Penicillin-Binding Protein 1A <i>Svetlana Jeremić, Enisa Selimović, Milan Dekić and Tanja Soldatović</i>	164
BTI1.5	GT Analyzer - A Basic Tool for Handwriting Movement Data <i>Vladimir Džepina, Nikola Ivančević, Vera Miler-Jerković, Blažo Nikolić, Dejan Stevanović, Jasna Jančić and Milica Janković</i>	168
BTI1.6	Morphological parameters assessment with a depth camera based measurement system <i>Olivera Tomašević, Luka Mejić, Darko Stanišić and Nikolina Maravić</i>	173
POWER ENGINEERING/ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА - (EEI/ЕЕ)		178
EEI1.1	Overview of measuring methods and equipment for calibration of instrument transformers <i>Dragana Naumovic-Vukovic</i>	179
EEI1.2	Effects of cryptocurrency mining rig operation on power quality in LV distribution network <i>Vladimir Katic, Zoltan Corba and Aleksandar Stanisavljevic</i>	188
EEI1.3	Prediction of voltage dips characteristics in IEEE 13-bus test grid using harmonic footprint <i>Aleksandar Stanisavljević and Vladimir Katic</i>	194
EEI1.4	Optimal Power Dispatch in Distribution Networks with PV Generation and Battery Storage <i>Jordan Radosavljević, Miloš Milovanović, Nebojša Arsić, Andrijana Jovanović, Bojan Perović and Jovan Vukašinović</i>	199
EEI1.5	Modeling of High-Voltage Induction Machines with Fallen-out Magnetic Slot Wedges <i>Milica Banović, Kristina Vujkov, Mladen Terzić and Dejan Jerkan</i>	205
EEI1.6	Time-domain simulation of electric circuit with nonlinear hysteretic inductor <i>Srđan Divac and Branko Koprivica</i>	211
EEI1.7	A Comparative Analysis of Three-Phase Phase-Locked Loops for Grid-Connected Systems <i>Filip Bakić, Lazar Stojanović, Katarina Obradović and Emilija Lukić</i>	217
EEI2.1	Parameter estimation of induction motors using Wild Horse Optimizer <i>Jovan Vukašinović, Miloš Milovanović, Nebojša Arsić, Jordan Radosavljević, Saša Štatkić, Bojan Perović and Andrijana Jovanović</i>	222
EEI2.2	Damper Winding Inductances Calculation by Winding Function Approach <i>Aldin Kajević and Gojko Joksimović</i>	228
EE1.1	Inteligentni DTC algoritam sa automatskom reorganizacijom u zavisnosti od intenziteta ripla momenta <i>Marko Posuћ</i>	234
EE1.2	Primjena električnih vozila za smanjenje deficita snage u sistemu <i>Uroš Ognjenović, Saša Mujović and Lazar Šćekić</i>	240
EE1.3	Realizacija laboratorijskog sistema za bežični prenos energije <i>Dejan Janjić, Alenka Milovanović and Branko Koprivica</i>	246
EE1.4	Pravci istraživanja u elektroenergetici kroz tematsku orijentaciju radova sa skupova CIRED Srbija i ETRAN/IcETAN <i>Zoran Simendić and Vladimir Katic</i>	251
ELECTRIC CIRCUITS AND SYSTEMS AND SIGNAL PROCESSING/ЕЛЕКТРИЧНА КОЛА, ЕЛЕКТРИЧНИ СИСТЕМИ И ОБРАДА СИГНАЛА - (EKI/ЕК)		257
EKI1.1	A method for laser rangefinder reticle position calibration in a multi-sensor imaging system <i>Saša Vujić, Miloš Radisavljević, Dragana Perić and Branko Livada</i>	258
EKI1.2	Linear regression in RR-RT domain for cardiac cycle evaluation <i>Milan Milivojević, Ana Gavrovska and Dragi Dujković</i>	264
EKI1.3	Application of Bayes and knn classifiers in tumor detection from brain MRI images <i>Marta Mirkov and Ana Gavrovska</i>	268
EKI1.4	From puppet-master creation to false detection <i>Ana Pantelić and Ana Gavrovska</i>	273
EK1.1	Kvarcni kristalni filter frekvencije 35.4 MHz zasnovan na trećem overtonu <i>Dragi Dujkovic, Ana Gavrovska, Lenkica Grubišić, Snežana Dedić-Nešić, Irini Reljin and Ivan Popovic</i>	278
EK1.2	Primena vremensko-frekvencijskih metoda kod analize spektra u kognitivnom radiju <i>Nenad Stojanovic, Milenko Andrić, Dimitrije Bujaković, Boban Bondzulic and Vladimir Ristić</i>	283
ELECTRONICS/ЕЛЕКТРОНИКА - (ELI/ЕЛ)		289

ELI1.1	A Gigabit Ethernet Media Access Controller for TCP/UDP Radar Data Streaming and Visualization <i>Vukan Damnjanović and Vladimir Milovanović</i>	290
ELI1.2	ANN model for one day ahead Covid-19 prediction <i>Jelena Milojković, Miljana Milić and Vančo Litovski</i>	296
ELI1.3	Equivalent Electromechanical Model of a Composite Ultrasonic Transducer <i>Igor Jovanović and Dragan Mančić</i>	300
ELI1.4	Hardware Realization of Nearest Neighbour Search Algorithm over an In-Memory Pre-Stored k-d Tree <i>Aleksandar Kondić and Vladimir Milovanović</i>	304
METROLOGY/МЕТРОЛОГИЈА - (MLI/МЛ)		310
MLI1.1	An Intercomparison of the Broadband Electrical Field Meter NARDA NBM 550 <i>Nenad Munić, Aleksandar Kovacević, Nenko Brkljač and Ljubiša Tomić</i>	311
MLI1.2	LiDAR measurements in Maritime transport safety and navigation of the deep seafloor <i>Dijana Džever and Marjan Urekar</i>	316
ML1.2	Dvokoračna segmentna linearizacija kao deo mernog lanca termopara <i>Dragan Živanović, Milan Simić, Milica Stojanović and Dragan Denić</i>	322
ML1.3	Poređenje merenja brzine vetra anemometrom sa lopaticama i ultrasoničnim anemometrom na vetroturbini <i>Robert Fajhner and Marjan Urekar</i>	328
ML1.4	Primena linearnog niza fotodetektora kod optičkih pseudoslučajnih pozicionih enkodera <i>Ivana Ranđelović, Dragan Denić, Goran Miljković and Aleksandar Jocić</i>	333
ML2.1	Ponovljivost rezultata merenja nivoa električnog polja EM smetnji <i>Aleksandar Kovačević and Nenad Munić</i>	337
ML2.2	Pregled elektrogastrografske metode <i>Jelena Đorđević Kozarov, Platon Sovilj, Marjan Urekar, Milan Šaš and Miroljub Pešić</i>	340
ML2.3	Sistem za merenje pritiska u konceptu Internet of Things <i>Tomislav Pap and Marjan Urekar</i>	344
ML2.4	Merno informacioni sistem za automatsko hranjenje kućnih ljubimaca <i>Maja Perić and Marjan Urekar</i>	347
ML2.5	Uređaj za pravilno sedenje baziran na merno-informacionim modulima <i>Jovana Jović and Marjan Urekar</i>	352
ML2.6	Merno-akvizicioni sistem za pravilno sedenje <i>Mario Volaš, Dragan Pejić and Marjan Urekar</i>	358
ML2.7	Razvoj softvera za merenje vremena reakcije na vizuelne i zvučne stimuluse <i>Milica Djordjevic, Djordje Novakovic and Marjan Urekar</i>	364
ML3.1	Projektovanje univerzalne razvojne ploče za merenje i regulaciju <i>Ninoslav Srdić, Marjan Urekar, Dragan Pejić and Platon Sovilj</i>	368
ML3.2	Merni sistem za detekciju padova zasnovan na akcelerometru, žiroskopu i GPS modulu <i>Sanja Mandić and Đorđe Novaković</i>	373
ML3.3	Merenje karakteristika i modelovanje Hamonovih etalon otpornika u naizmeničnom režimu <i>Stefan Mirkovic, Dragan Pejic and Aleksandar Dimitrijevic</i>	378
ML3.4	Merni sistem za određivanje modula i faznog stava impedanse baziran na virtuelnoj instrumentaciji <i>Milan Šaš, Dragan Pejić, Nemanja Gazivoda, Đorđe Novaković and Bojan Vujičić</i>	382
ML3.5	Simulaciona analiza metode pogodna za metrološku karakterizaciju impedanse na niskim frekvencijama <i>Milan Šaš, Dragan Pejić, Nemanja Gazivoda, Đorđe Novaković and Bojan Vujičić</i>	386
MICROELECTRONICS AND OPTOELECTRONICS, NANOSCIENCES AND NANOTECHNOLOGIES/МИКРОЕЛЕКТРОНИКА И ОПТОЕЛЕКТРОНИКА - (MOI/МО)		390
MOI1.1	Two Color Photodiodes Mounted on the Micromachined Carrier <i>Žarko Lazić, Milče Smiljanić, Dušan Nešić and Ljubiša Zeković</i>	391
MOI1.2	Optimization of electrodeposition parameters to improve composite hardness of nickel coatings on brass substrate for varying film thicknesses and applied indentation loads <i>Ivana Mladenović, Jelena Lamovec, Marko Obradov, Milena Rašljić Rafajilović, Vesna Radojević, Dana Vasiljević Radović and Nebojša Nikolić</i>	395
MOI1.3	Electrically Programmable Analog Device As An Ultraviolet Light Sensor <i>Stefan Ilić, Milija Sarajlić, Dana Vasiljević-Radović, Marko Andjelković, Alberto J. Palma, Russell Duane and Goran Ristić</i>	401
MOI1.4	Origin of the Open Circuit Voltage and Important Processes that Affect its Value in Organic Solar Cells <i>Teodora Pavličević, Jovana Gojanović, Nataša Čirović and Sandra Živanović</i>	405
MOI1.5	Design Consideration for Low-Power Step-Up Converter <i>Jana Vračar, Milan Stojanović, Zoran Prijjić, Aneta Prijjić and Ljubomir Vračar</i>	411
MO1.1	Osnovi teorije diferencnih jednačina sa primenom na analizu svojstava nanostrukture <i>Jovan Šetrajčić, Vjekoslav Sajfert and Siniša Vučenović</i>	415
MO1.2	Difuzija optičkih pobuđenja u tankim molekulskim filmovima <i>Jovan Šetrajčić and Siniša Vučenović</i>	427
MO1.3	Indukovanje stanja sličnih topološkim kod dvoslojnih fosforenskih traka primenom normalnog električnog polja <i>Vladimir Arsoski and Milan Tadić</i>	433
MO1.4	Elektronska svojstva grafenskih nanotraka sa periodičnim defektima <i>Jovana Vlahović, Vladimir Arsoski, Milan Tadić and Milorad Milošević</i>	437

	MICROWAVE TECHNIQUE, TECHNOLOGIES AND SYSTEMS/МИКРОТАЛАСНА ТЕХНИКА, ТЕХНОЛОГИЈЕ И СИСТЕМИ - (MTI/MT)	441
MTI1.1	On Some Differences Between Wave Digital Models of Directional Couplers <i>Biljana Stošić, Nebojša Dončov and Marin Nedelchev</i>	442
MTI1.2	Doherty PA Linearization by Injection of the 2nd order Digitally Processed Signals for 5G FBMC modulation <i>Aleksandar Atanasković, Nataša Maleš-Ilić, Biljana Stošić and Djurdje Budimir</i>	448
MTI1.3	Planar Archimedean Spiral Antenna Resonant Frequency and Bandwidth Estimation using MLP Neural Network <i>Zoran Stanković, Maja Sarevska, Nebojša Doncov and Ksenija Pesic</i>	452
MTI1.4	Analysis of Feeding Methods for High-Gain Crossed Slot Antenna Arrays <i>Marija Milijic and Branka Jokanovic</i>	457
MTI1.5	Cost-Effective Standing Wave Ratio Meter <i>Ana Ćupurdija and Slobodan Savić</i>	463
MT1.1	Automatizacija određivanja nivoa EM polja radio-difuznih predajnika na osnovu ITU-R P.1546 metode za visine h1 manje od 10 m <i>Miloš Radojković and Zlatica Marinković</i>	469
MT1.2	TLM modelovanje deformacija savijanja antene u biomedicinskim aplikacijama <i>Jugoslav Jokovic, Tijana Dimitrijević, Aleksandar Atanaskovic and Nebojša Doncov</i>	473
	NEW MATERIALS IN ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING/НОВИ МАТЕРИЈАЛИ - (NMI/HM)	478
NMI1.1	Sintering and Phase transition of the ZnTiO ₃ nano powder dilatometric data deconvolution <i>Nebojša Labus, Milena Rosić, Smilja Marković, Maria-Vesna Nikolić and Srđan Matijašević</i>	479
NMI1.2	Study of the effect of microstructure and magnetic texture on major loop phenomenology using OOMMF <i>Mehrija Hasicic, Aphrodite Ktena and Jasna Hivziefendić</i>	487
NM1.1	Primeri primene fraktalne analize na karakterizaciju novih materijala <i>Sanja Aleksić, Branislav Ranđelović, Aleksandar Pantić, Neda Stanojević and Dušan Milošević</i>	492
NM1.2	Mikrostrukturna i dielektrična karakterizacija PLZT keramike <i>Vesna Paunović, Miloš Marjanović and Zoran Prijić</i>	498
NM1.3	Električne karakteristike BaTiO ₃ keramike dopirane antimonom <i>Aleksandra Stojković, Miloš Marjanović, Vesna Paunović, Aneta Prijić and Zoran Prijić</i>	503
NM1.4	Осетљивост магнетоимпедансног елемента CoFeSiB аморфне жице <i>Jelena Orelj and Nebojša Mitrovic</i>	507
	NUCLEAR ENGINEERING AND TECHNOLOGY/НУКЛЕАРНА ТЕХНИКА - (NTI/HT)	512
NTI1.1	The stability and Quality Control of Instruments for Measurement of Ambient Dose Equivalent Rate <i>Jelena Krneta Nikolic, Marija Janković, Milica Rajacic, Ivana Vukanac, Dragana Todorovic and Natasa Sarap</i>	513
NTI1.2	Measurement using liquid scintillation spectrometer-quality control <i>Marija Janković, Nataša Sarap, Jelena Krneta Nikolić, Milica Rajačić, Dragana Todorović and Ivana Vukanac</i>	516
NTI1.3	E-Waste Glass in Radionuclide Immobilization <i>Tatjana Miljojcic, Ivana Jelic, Marija Sljivic Ivanovic and Slavko Dimovic</i>	519
NT1.1	UTICAJ FUZIONIH GENERATORA NA EFIKASNOST GASNOG ODVODNIKA PRENAPONA <i>Nemanja Aranđelović, Dušan P. Nikezić, Uzahir Ramadani, Ivan Lazović, Nikola Mirkov and Predrag V. Osmokrović</i>	524
NT1.2	Sektorski pristup u analizi bezbednosnih rizika upravljanja nuklearnim otpadom <i>Slavko Dimović, Milica Ćurčić and Nikola Zdolšek</i>	530
NT1.3	UTICAJ JONIZUJUĆEG ZRAČENJA NA KARAKTERISTIKE GASNIH ODVODNIKA PRENAPONA <i>Uzahir Ramadani, Dušan P Nikezić, Alija Jusić, Ivan Lazović and Nikola Mirkov</i>	537
	COMPUTING AND INFORMATION ENGINEERING/РАЧУНАРСКА ТЕХНИКА И ИНФОРМАТИКА - (RTI/PT)	543
RTI1.1	One Solution For Multimedia Subscription Using Blockchain <i>Igor Srdić and Djordje Glisic</i>	544
RTI1.2	Model-Driven Approach to Blockchain-Enabled MLOps <i>Nenad Petrović</i>	548
RTI1.3	Controllability of the multi-agent system modeled by the chain graphs with repeated degree <i>Milica Anđelić, Edin Dolićanin and Zoran Stanić</i>	554
RTI1.4	Distillation of Secret Keys using Speech Signals and Discussion through a Public Channel <i>Jelica Radomirović, Milan Milosavljević and Aleksandra Krstić</i>	558
RTI2.1	One solution for voice commands on Android based STB <i>Jovana Simić, Djordje Glisic and Uros Jokic</i>	562
RTI2.2	One solution for simulating conditional access in DTV Software on PC platform <i>Milan Petrović, Djordje Glisic and Uroš Jokić</i>	566
RTI2.3	One solution for testing embedded DTV software on the PC platform <i>Branka Ševa, Djordje Glisic and Uroš Jokić</i>	570
RTI2.4	Comparison of type-2 hypervisor performance on the example of VirtualBox, VMware Workstation player and MS Hyper-V	574

	<i>Borislav Đorđević, Iva Jovičić, Nenad Kraljević and Valentina Timčenko</i>	
RTI2.5	Comparison of file system performance in full virtualization with MS Hyper-V and KVM hypervisors	580
	<i>Borislav Đorđević, Miloš Piljić, Nenad Kraljević and Valentina Timčenko</i>	
RTI2.6	A Review of Wazuh Tool Capabilities for Detecting Attacks Based on Log Analysis	585
	<i>Stefan Stanković, Slavko Gajin and Ranko Petrović</i>	
RTI3.1	Infrastructure for Simulating n-Dimensional Simplicial Complexes	590
	<i>Dušan Cvijetić, Nenad Korolija and Marko Vojinović</i>	
RTI3.2	Possibilities for Parallelizing Simplicial Complexes Simulation	595
	<i>Dušan Cvijetić, Nenad Korolija and Marko Vojinović</i>	
RTI3.3	The Evolution of Big Data Analytics Solutions in the Cloud	600
	<i>Danko Miladinović, Jovan Popović and Nenad Korolija</i>	
RTI3.4	Hybrid Manycore Dataflow Processor	606
	<i>Danko Miladinović, Miroslav Bojović, Vladislav Jelisavčić and Nenad Korolija</i>	
RTI3.5	Service-Oriented Communication Between ADAS and IVI Domains in Automotive Solutions	611
	<i>Dušan Kenjić, Marija Antić and Dušan Živkov</i>	
RT1.1	Утврђивање сличности софтверског кода	617
	<i>Zaharije Radivojević and Miloš Cvetanović</i>	
RT1.2	Softversko rešenje za akviziciju i vizuelizaciju moždanih talasa	626
	<i>Ivan Tot, Boriša Jovanović, Dušan Bogičević, Tamara Gajić and Jordan Atanasijević</i>	
RT2.1	Platforma za praćenje kvaliteta vazduha u gradu Čačak	630
	<i>Nikola Kukric, Bozidar Popovic, Slobodan Lubura and Zorana Mandić</i>	
	ROBOTICS AND FLEXIBLE AUTOMATION/РОБОТИКА И ФЛЕКСИБИЛНА АУТОМАТИЗАЦИЈА - (ROI/PO)	634
ROI1.1	Mobile robot decision-making system based on deep machine learning	635
	<i>Aleksandar Jokić, Milica Petrović and Zoran Miljković</i>	
ROI1.2	Method for Configuring Virtual Robot as an Integral Part of the Control System	639
	<i>Nikola Slavković, Saša Živanović, Zoran Dimić and Nikola Vorkapić</i>	
ROI1.3	Low-cost real-time human motion capturing system	645
	<i>Milutin Nikolic, Lazar Milić, Milutin Studen and Mirko Raković</i>	
ROI1.4	GAN-based Data Augmentation in the Design of Cyber-attack Detection Methods	651
	<i>Dušan Nedeljković and Živana Jakovljević</i>	
ROI1.5	Comparison of SLAM algorithms on omnidirectional four wheel mobile robot	657
	<i>Slaven Petković, Lazar Milić, Milutin Nikolić, Mirko Raković and Dragiša Mišković</i>	
ROI2.1	Natural Non-Invasive Human-Machine Interface Based on Hand Gesture Recognition	663
	<i>Jelena Rodić, Darko Golubović, Nikola Knežević and Kosta Jovanović</i>	
ROI1.1	Pozicioniranje Hvatiljke ABB Kolaborativnom Robotu Pomoću Kamere	668
	<i>Vojislav Vujičić and Ivan Milićević</i>	
ROI1.2	Upravljanje pasivnom krutošću završnog uređaja robota oblikovanjem elipsoida krutosti	672
	<i>Branko Lukić, Nikola Knežević and Kosta Jovanović</i>	
ROI1.3	Hijerarhijsko distribuirano upravljanje kolaborativnim industrijskim humanoidnim robotom podržano oblak-arhitekturom	678
	<i>Jovan Šumarac, Aleksandar Rodić and Ilija Stevanović</i>	
	TELECOMMUNICATIONS/ТЕЛЕКОМУНИКАЦИЈЕ - (TEI/TE)	683
TEI1.1	On Pulse Shaping for Generalized Faster than Nyquist Signaling with and without Equalization	684
	<i>Jovan Milojkovic, Srđan Brkić and Jelena Čertić</i>	
TEI1.2	Performance simulation for LCR of MIMO Multi-branch SC Diversity System in α - μ fading and α - μ interference channel	688
	<i>Dejan Milic, Suad Suljović, Dejan Rančić, Nenad Petrović and Nenad Milošević</i>	
TEI1.3	Location Privacy Improvements in Telecommunication Data Management Systems	693
	<i>Milan Simaković, Zoran Čiča and Dejan Drajić</i>	
TEI1.4	Introducing IoT to Big Data Platform for Network Performance Monitoring	698
	<i>Milan Simaković, Zoran Čiča and Dejan Drajić</i>	
TEI1.5	Reliability of Earth-Space Links under Deep Fades with Interleaved Reed-Solomon Codes	702
	<i>Srđan Brkić, Zoran Čiča, Andreja Radošević, Đorđe Sarač and Predrag Ivaniš</i>	
TEI1.6	Effect of Phase Noise on Error Probability of MPSK Receiver over TWDP Channel - Simulation Study	707
	<i>Goran Djordjevic, Jarosław Makal, Bane Vasic and Bata Vasic</i>	
TEI2.1	Initial Development of a Program for Drone Micro-Doppler Signature Modelling	711
	<i>Jovan Radivojević, Predrag Petrović, Aleksandar Lebl and Mladen Mileusnić</i>	
TEI2.2	Execution Time Improvement using CPU Parallelization and Non-Uniform High-Resolution Range-Doppler Map Estimation in HFSWR	717
	<i>Dragan Golubović, Nenad Vukmirović, Zoran Lončarević, Marko Marković and Miljko Erić</i>	
TEI2.3	Layer 2 Forwarding Using T4P4S: P4 Language and Data Plane Development Kit	723
	<i>Dimitrije Jovanović and Aleksandra Smiljanić</i>	
TE1.1	Mogućnost primene beacon tehnologije za razvoj Covid-19 sistema za praćenje kontakta u visokoškolskim institucijama	729
	<i>Ivana Stefanović, Milutin Nešić and Marko Milivojčević</i>	

TE1.2	Istraživanje različitih algoritama dubokog učenja za detekciju i klasifikaciju dronova <i>Mohammed Mokhtari, Jovan Bajčetić, Boban Sazdić-Jotić and Boban Pavlović</i>	734
TE1.3	LDPC dekoderi sa reinicijalizacijama koji objedinjuju tvrde odluke i razmenu mekih poruka <i>Predrag Ivaniš, Srđan Brkić and Bane Vasić</i>	740
TE1.4	Analiza performansi kooperativnog diverziti sistema u kompozitnom fedingu modelovanom odnosom α - μ i gama raspodela <i>Edis Mekić, Irfan Fetahović and Edin Dolićanin</i>	746
ARTIFICIAL INTELLIGENCE/ВЕШТАЧКА ИНТЕЛИГЕНЦИЈА - (VII/ВИ)		750
VII1.1	Code Comment Classification Taxonomies <i>Marija Kostić, Aleksa Srbijanović, Vuk Batanović and Boško Nikolić</i>	751
VI1.2	Primena ConvLSTM modela za predikciju optičke debljine aerosola <i>Uzahir Ramadani, Dusan Nikezić, Dušan Radivojević, Nikola Mirkov and Ivan Lazović</i>	757
VI1.3	Primena veštačke inteligencije na terminal za daljinsko upravljanje stanice za punjenje električnih vozila koja se napaja iz obnovljivih izvora električne energije <i>Jovan Vujasinovic and Goran Savić</i>	763
VI1.4	Prepoznavanje imena na slikama lekarskih izveštaja na srpskom jeziku u cilju zaštite ličnih podataka <i>Aldina Avdić and Ulfeta Marovac</i>	768
VI1.5	Sistem za automatizaciju testova za proveru znanja baziran na transformaciji predikatskih iskaza <i>Ulfeta Marovac and Aldina Avdić</i>	772
SPECIAL THEMATIC SESSION CONTEMPORARY TECHNOLOGIES AND EDUCATION/СПЕЦИЈАЛНА ТЕМАТСКА СЕСИЈА САВРЕМЕНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ И ЕДУКАЦИЈА (SS-EDUI/СС-ЕДУ/)		777
SS-EDUIUvodni rad	Konferencije ETRAN/IcETAN kroz statistiku <i>Vladimir Katić, Marko Jarnević, Dragomir Nikolić and Mirjana Jovanić</i>	778
SS-EDUI1.1	A Comparison of Selected Systems For Learning About SQLi Vulnerability Suitable for Academic Uses <i>Djordje Madic, Danko Miladinovic and Zarko Stanislavjevic</i>	784
SS-EDUI1.2	Automated grading system for picoComputer assembly codes integrated within E-Learning platform <i>Jovan Đukić, Vladimir Jocović, Marko Mišić and Milo Tomašević</i>	789
SS-EDUI1.3	Pandemic Support System Modelling and Implementation as Integral Part of Computer Science Courses <i>Nenad Petrović</i>	794
SS-EDUI1.4	An overview of software code review tools and the possibility of their application in teaching at the School of Electrical Engineering in Belgrade <i>Milos Obradovic, Marija Kostic, Balsa Knezevic and Drazen Draskovic</i>	799
SS-EDUI1.1	Automatsko snimanje amplitudno-frekventnih karakteristika primenom Arduino okruženja <i>Goran Dikić and Slobodan Drašković</i>	805
SS-EDUI1.2	Zaštita prenosa paketskog telefonskog saobraćaja upotrebom tehnologije virtuelnih privatnih mreža <i>Miće Živanović, Jovan Bajčetić and Ivan Tot</i>	809
SPECIAL THEMATIC SESSION – DIGITALISATION IN SCIENCE/СПЕЦИЈАЛНА ТЕМАТСКА СЕСИЈА – ДИГИТАЛИЗАЦИЈА У НАУЦИ (SS-DI/СС-ДИ)		815
SS-DI1.1	Digitalizacija naučne građe - metode i rešenja <i>Zoran Zdravković</i>	816
SS-DI1.2	Jedinica za snimanje podataka u ispitivanju vanrednih železničkih događaja <i>Sanja Jevtić, Marija Vukšić Popović, Nada Ratković Kovačević and Sonja Ketin</i>	822
SS-DI1.3	Merenje digitalizacije i IKT sektora – parametri i metode kvantifikacije razvoja društva <i>Zoran Zdravković</i>	826
SS-DI1.4	Neki savremeni aspekti upotrebe luminiscentnih efekata <i>Milanka Pećanac and Bećko Kaslića</i>	830
SS-DI1.5	Изазови у настави на рачунарима током пандемије Covid 19 на предмету Нацртна геометрија са рачунарским цртањем <i>Magdalena Dragović, Aleksandar Čučaković, Svetlana Čičević, Aleksandar Trifunović and Anastazija Martinenko</i>	834
SS-DI1.6	Aktuelni problemi digitalizacije u državnoj administraciji <i>Nikola Popović and Julijana Mirčevski</i>	840
SS-DI1.7	On the Potential of SMS Text Messaging in mHealth <i>Danica Mamula Tartalja, Gordana Jelic and Enis Osmani</i>	844
SPECIAL THEMATIC SESSION - FORENSICS/ СПЕЦИЈАЛНА ТЕМАТСКА СЕСИЈА – ФОРЕНЗИКА (SS-FO/СС-ФО)		848
SS-FO1.1	Forenzičke metode za identifikaciju lica: juče, danas, sutra <i>Snezana Stojčić, Nataša Petrović, Radovan Radovanović and Mileša Srećković</i>	849
SS-FO1.2	Sigurnosni uređaji za proveru oružja u funkciji forenzičko-balističkih ispitivanja <i>Kristijan Đujić, Radovan Radovanović, Saša Milić, Martin Matijašević and Aleksandar Ivković</i>	854
SS-FO1.3	Primena forenzičkih alata u klasifikaciji incidenata i nesreća u komercijalnom vazдушном саобраћају по EASA методологији <i>Aleksandar Ivković, Radovan Radovanović, Sаша Милић, Душан Ивковић and Кристијан Ђујић</i>	858
SS-FO1.4	Нуклеарна форензика – методе за откривање процеса производње, прометовања и кријумчарења недозвољених физионих материјала <i>Срећко Илић, Радован Радовановић, Саша Милић, Александар Алексић and Александар Ивковић</i>	863

SS-FO1.5	Stabilnost frekvencije kvarcnih oscilatora <i>Miodrag Malović, Ljiljana Brajović and Tomislav Šekara</i>	869
SS-FO1.6	Natural Polymers As Nanocapsule Carriers <i>Danijela Rajić, Srđan Vuković and Svetlana Pelemiš</i>	875
SS-FO2.1	Kvantne generativne suparničke mreže za generisanje naučnih rezultata <i>Vladimir Arsoski</i>	879
SS-FO2.2	Forenzički aspekt prostorne i vremenske komponente <i>Snezana Stojičić, Radovan Radovanović, Mileša Srečković and Nikola Radovanović</i>	886
SS-FO2.3	Različiti režimi rada kvantnih generatora kao instrument za modifikacije u stomatologiji <i>Aleksandar Bugarinović, Željka Tomić, Sanja Jevtić, Aleksander Kovačević, Svetlana Pelemiš, Zoran Nedić and Dragan Družijanić</i>	890
SS-FO2.4	Оптичка влакна у периметарским системима техничке заштите <i>Slađana Pantelić and Branka Radojčić</i>	894
SS-FO2.5	FIZIČKA I NEDESTRUKTIVNA ISPITIVANJA KERAMIČKIH MATERIJALA ZA OBLAGANJE SA ASPEKTA TRAJNOSTI <i>Zoran Stević, Aleksandar Savić, Milica Vlahović, Sanja Martinović and Tatjana Volkov Husović</i>	898
SS-FO2.6	Суб-микрометарске паралелне површинске структуре индуковане фемтосекундним ласерским снопом у форензици <i>Aleksander Kovačević, Suzana Petrović, Marina Lekić, Borislav Vasić, Branislav Salatić and Jelena Potočnik</i>	901
SPECIAL THEMATIC SESSION - HERITOLGY/СПЕЦИЈАЛНА ТЕМАТСКА СЕСИЈА - ХЕРИТОЛОГИЈА (SS-HE/CC-XE)		905
SS-HE1.1	Sinhronizacija mernih podataka u bežičnim senzorskim mrežama <i>Miodrag Malović</i>	906
SS-HE1.2	Primer kombinovanja raspodela atmosferskih aerosola po veličinama dobijenih metodom merenja električne pokretljivosti i optičkom metodom <i>Miloš Davidović, Milena Davidovic, Sonja Dmitrašinović, Mileša Srečković and Milena Jovašević–stojanović</i>	913
SS-HE1.3	INTEGRACIJE NAUČNIH ZNANJA U PRIMENI VEŠTAČKE INTELIGENCIJE U HERITOLOŠKIM PROBLEMIMA <i>Suzana Polić, Mileša Srečković, Zoran Stević, Slobodan Bojanić and Željka Tomić</i>	918
SS-HE1.4	Problem heritološke abdukcije u vezi sa instrumentalnim analizama materijala kulturne baštine <i>Suzana Polić, Mileša Srečković, Zoran Stević, Miodrag Malović and Miloš Đurić</i>	922
SS-HE1.5	Deskripcija, heritologija i metrologija boje <i>Mileša Srečković, Veljko Zarubica, Aleksander Kovačević, Zoran Fidanovski, Suzana Polić and Milena Davidović</i>	928
SS-HE1.6	PROTO-KONCEPTUALNA REŠENJA U PRIMENI LASERA U HERITOLOGIJU <i>Mileša Srečković, Suzana Polić, Zoran Stević, Veljko Zarubica and Stanko Ostojić</i>	933
SS-HE1.7	COMPARISON OF 3D PRINTING AND GALVANIC COATING OF GOLD IN PRINTING CIRCUIT BOARD PRODUCTION <i>Zoran Karastojković, Radiša Perić, Aleksandar Bugarinović, Milan Miladinov and Višeslava Rajković</i>	937
SSICETRAN-KALCEA		940
SS-ICETRAN-KALCEA	Platform for Rapid Prototyping of Maximum Power Point Tracking Algorithms in Photovoltaic Systems <i>Srđan Lale, Ognjen Petrić, Slobodan Lubura and Marko Ikić</i>	941
Indeks autora/Author index		

O ulozi akustičkih rezonatora u prostoru hrama Svetog Save u Beogradu

Dragana Šumarac Pavlović, Miomir Mijić, Jelena Erdeljan, Tatjana Miljković

Apstrakt— Akustički rezonatori su naprave od davnina korišćene u crkvama sa idejom da se pomoću njih na neki način kontroliše zvučni odziv prostora. Projekat hrama Svetog Save u Beogradu svojevremeno je predvideo ugradnju 476 posebno dizajniranih rezonatora da bi se umanjila očekivana reverberacija u njegovoj velikoj zapremini od 117.000 m³. Tokom izrade mozaika kojim je oslikan hram tako veliki broj rezonatorskih otvora relativno velikog prečnika otežavao je montažu kamenih elemenata mozaika. Zbog toga se nametnulo pitanje njihove nužnosti i svrsishodnosti u hramu i pokrenuto je istraživanje realne efikasnosti ugrađenih rezonatora i rizika koje nosi njihovo eventualno zatvaranje. Tadašnja analiza je malo proširena i ukupni rezultati do kojih se došlo prikazani su u ovom radu.

Ključne reči — akustički odziv; akustički rezonatori; crkve, Hram Svetog Save.

I. UVOD

Nesumnjivo najznačajniji sakralni objekat u Srbiji je hram Svetog Save. Izgrađen je na vrhu Vračarskog brda u Beogradu, pa zahvaljujući svom položaju, ali i fizičkoj monumentalnosti, dominira Beogradom i vidljiv je s velikog dela teritorije grada. Navodi se da je Hram po zapremini glavnog molitvenog prostora najveća aktivna pravoslavna crkva na svetu [1]. Njegova zapremina, preciznije unutrašnji vazdušni prostor, zauzima oko 117.000 m³.

Aktivnosti na izgradnji hrama započete su još 1895. godine kada je u Beogradu osnovano „Društvo za podizanje hrama Svetog Save na Vračaru“. Društvo je 1905. godine raspisalo arhitektonski konkurs za idejno rešenje hrama. Zanimljivo je da su svi prispeli radovi, a prispelo ih je samo 5, odbačeni kao nedovoljno dobri. Nakon I svetskog rata Društvo je obnovilo rad i 1926. godine raspisan je novi konkurs. Kao najuspešniji proglašen je rad arhitekta Bogdana Nestorovića, pa je Društvo 1930. godine poverio izradu projekta arhitektama Nestoroviću i Aleksandru Deroku. Izgradnja hrama je konačno započela 15. septembra 1935. godine.

Od početka građevinskih radova do nemačke okupacije 1941. godine izgrađeni su temelji hrama i podignuti zidovi visine od 7 do 11 m. Stariji beograđani pamte takvo njegovo stanje sa poluizgrađenim zidovima od opeke. S Drugim svetskim ratom „Društvo za izgradnju hrama“ je prestalo da postoji.

Nastavak gradnje hrama započeo je 1984. godine, a za novog arhitektu hrama imenovan je arhitekta Branko Pešić. Gradnja objekta je u građevinskom smislu završena 2004. godine. Međutim, radovi na unutrašnjem uređenju i dekoraciji dovršeni su značajno kasnije, da bi se otvaranje hrama ozvaničilo tek nedavno, krajem 2021. godine nakon završetka oslikavanja mozaikom i finalizacije većine prostora u hramu (iako se u njemu još uvek odvijaju građevinski i instalaterski radovi).

Svakako je zanimljivo da su u projektovanju hrama tokom osamdesetih godina dvadesetog veka projektanti razmatrali i akustičke aspekte. Kao akustički konsultant angažovan je Stevan Milosavljević. Tokom rada na projektu doneta je odluka da se kontrola akustičkog odziva prostora hrama realizuje pomoću akustičkih rezonatora, svakako imajući u vidu brojne informacije o njihovom postojanju u srednjovekovnim crkvenim prostorima. Neki od radova koji obrađuju tu temu pobrojani su u spisku literature na kraju ovog rada [2-9]. Činjenica je da radovi o rezonatorima u crkvama koji se mogu naći u raznorodnoj literaturi većim delom nisu inženjerski, preciznije akustičarski. Postoje brojni radovi koji su rezultat analiza koje su sprovodili arheolozi, istoričari umetnosti, arhitekta i drugi autori iz oblasti tangentnih sa akustikom.

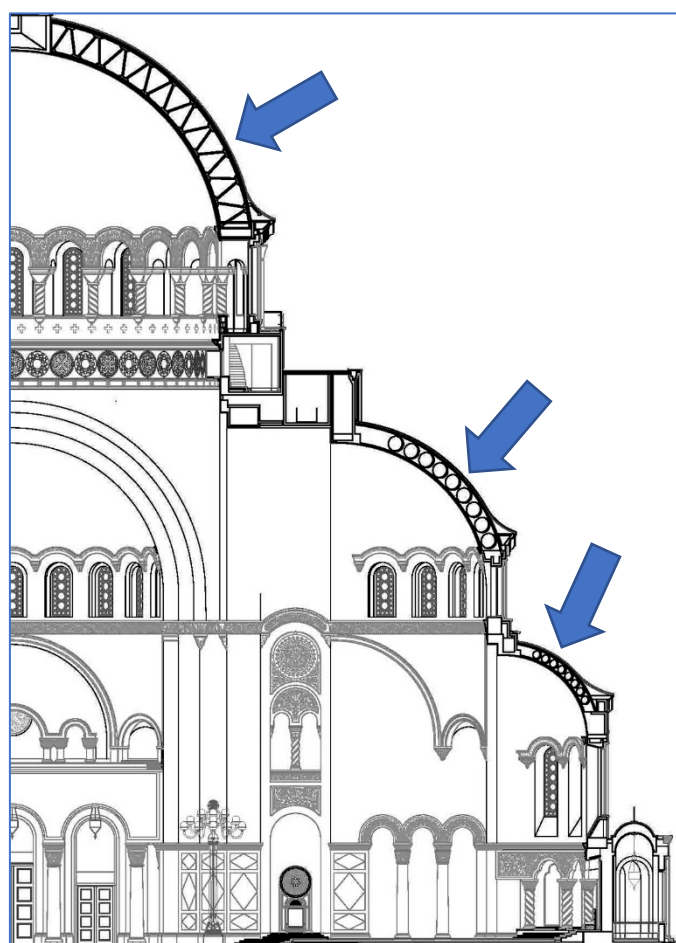
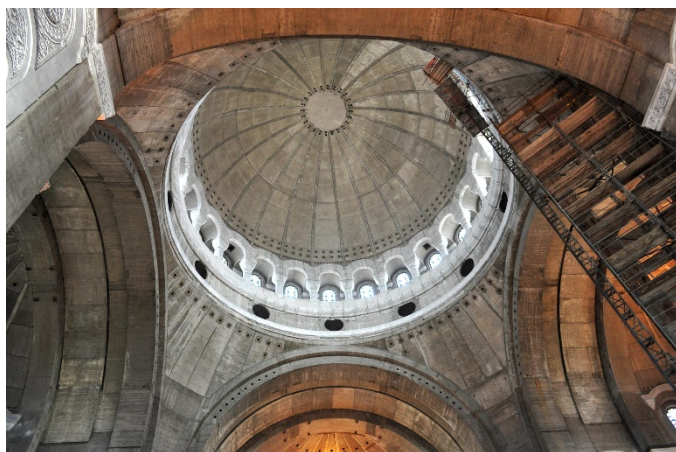
Ideja o rezonatorima kao sredstvu za kontrolu akustičkog odziva u hramu inicirala je u vreme projektovanja opsežnu studiju o kojoj je pisao D.Kalić [10]. Dimenzije rezonatora prikazane u njegovom radu određene su na osnovu prethodno usvojene odluke o potrebnim rezonantnim frekvencijama u zadatom prostoru. Rezonatori imaju formu betonskih kocki sa okruglim otvorom na prednjoj strani. Primenjena su dva tipa rezonatora, manji i veći. Veći rezonatori imaju dužinu stranice 1,1 m i proračunom utvrđenu rezonantnu frekvenciju 125 Hz, a manji su sa stranicom 55 cm i proračunom utvrđenom rezonantnom frekvencijom 250 Hz. U hramu je projektom predviđeno ukupno 476 takvih rezonatora. Njihove pozicije su vidljive na fotografiji prikazanoj na slici 1. Rezonatori su postavljani u površine gornje zone hrama, u kupoli i svim bočnim svodovima, očigledno prema realnim mogućnostima ugradnje takvih relativno velikih kutija u građevinske strukture. Naime, na tim delovima građevinske konstrukcije hrama postoji dvostruka betonska ljuska. To je omogućilo da prisustvo nezavisnih celina kakve su kutije rezonatora ne ugrožavaju statiku objekta. Bliski poled na dva rezonatora u ugrađenom stanju prikazan je na slici 2.

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

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

Jelena Erdeljan – Filozofski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Čika Ljubina 18-20, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: @).

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



Sl.1. Gore - izgled unutrašnjosti hrama pre postavljanja mozaika sa vidljivom otvorima rezonatora oko kupole (fotografija je napravljena 2010. godine, to jest pre postavljanja mozaika); dole – označene pozicije dvostrukih betonskih struktura kupole i svodova vidljive u preseku u koje su ugrađeni rezonatori.

Oslikavanje hrama, a posebno odluka da se za to koristi mozaik kao tehnika, otvorilo je neke praktične probleme koji očigledno nisu uzeti u obzir pri projektovanju takve akustičke obrade prostora. Problemi su posledica činjenice da na unutrašnjim površinama hrama prostoje brojni, relativno veliki otvori rezonatora. Oni su potencijalno remetili strukturu slika, ali i komplikovali montažu teških obloga sa pripremljenim kamenim elementima mozaika. Zbog toga je pokrenuto pitanje provere svrshodnosti i realnih dometa rezonatora u kontroli

veoma duge reverberacije prostora hrama i procene akustičkog rizika koji nastaje ako se rezonatori eliminišu prekrivanjem njihovih otvora.



Sl.2. Bliski pogled na dva rezonatora u kupoli - levo je manji, a desno veći rezonator.

Da bi se razrešile nedoumice oko uticaja rezonatora i montaže mozaika inicirano je posebno istraživanje. Njegov cilj je bio da pomogne u donošenju strateških odluka u konačnom dovršavanju hrama. Istraživanje je obavljeno tokom 2010. godine, a u njemu su učestvovali članovi stručnog tima Laboratorije za akustiku Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu. U analizama su korišćeni rezultati merenja akustičkog odziva hramu u zatečenom stanju i u njegovom numeričkom modelu pomoću rej-trejsing simulacije. Za sagledavanje novih aspekata analiziranog problema utrađene su u novije vreme neke dodatne analize. Rezultati su prikazani u ovom radu.

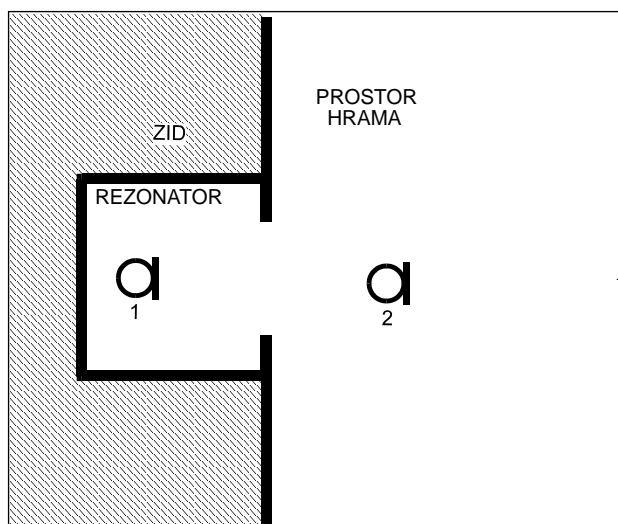
II. KARAKTERISTIKE UGRAĐENIH REZONATORA

Prvi korak u istraživanju na temu mogućeg doprinosa ugrađenih rezonatora na akustički odziv hrama uključilo je proveru njihovih realno postignutih rezonantnih frekvencija. Podaci o tome prikazani u projektu dobijeni su proračunima koji uvek nose moguću grešku zbog nesavršenosti matematičkih modela [11-14]. S tim ciljem je organizovano *in situ* merenje rezonantnog odziva ugrađenih rezonatora.

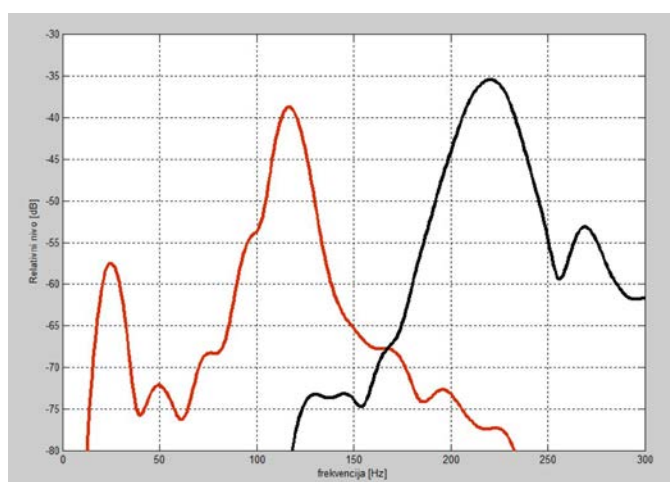
Za tu namenu iskorišćena je dizalica sa platformom koja je u to vreme postojala u hramu i korišćena je za potrebe građevinskih radova. Dizalica je vidljiva na desnoj strani fotografije sa slike 1. Ona je omogućila da se ostvari dovoljno približavanje jednoj grupi rezonatora u kupoli i postavljanje zvučnog izvora i mernih mikrofona. S obzirom na njihovu poziciju u hramu, merenja su izvršena na rezonatorima koji su bili dohvatni sa platforme dizalice i prikazani su na slici 1.

Metodologija merenja rezonantnih svojstava ugrađenih rezonatora ilustrovana je na slici 3. Koncept merenja njihove rezonantne frekvencije i propusnog opsega ranije je razvijen za potrebe detaljne analize izvesnog broja rezonatora izvađenih iz srednjovekovnih srpskih crkava [15]. Za tu namenu korišćen je priručni širokopojasni izvor zvuka pozicioniran u zoni otvora ispitivanih rezonatora. Zvučni signal je registrovan sa dva merna mikrofona – jedan se nalazio u blizini otvora rezonatora i registrovao je pobudu rezonatora iz prostora hrama, a drugi je bio u unutrašnjosti rezonatora i u njemu registrovao odziv na

primenjenu pobudu. Na osnovu razlike signala iz mikrofona u ove dve tačke dobijena je relativna promena nivoa zvuka po frekvencijama u rezonatoru, a koja nastaje kao posledica rezonantnog procesa. Dobijene rezonantne krive za dva tipa rezonatora ugrađena u hramu prikazane su na slici 4.



Sl.3. Šematski prikaz postupka merenja rezonantne frekvencije ugrađenih rezonatora: 1 – mikروفon u rezonatoru, 2 – mikروفon u prostoru ispred rezonatora



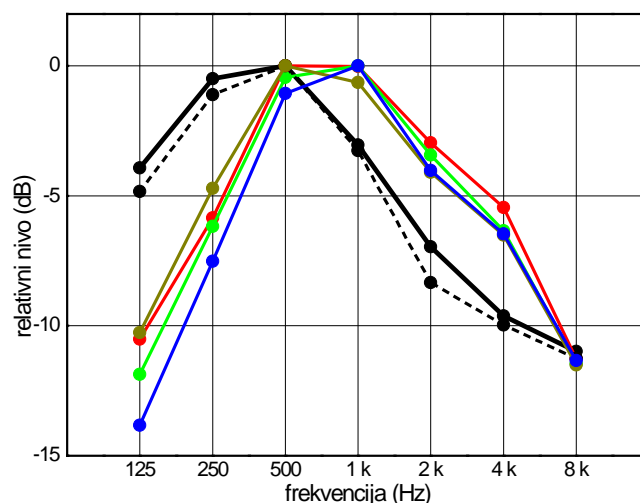
Sl.4. Odzivi dva tipa rezonatora ugrađena u kupoli hrama; odzivi su snimljeni metodologijom prikazanom na slici 2: crvena linija – veći rezonator, crna linija – manji rezonator.

Sa slike 4 se vidi da je snimljeni odziv analiziranih rezonatora na spoljašnju zvučnu pobudu karakterističan za rezonantni proces. Jasno se vidi da je njihova selektivnost relativno uska. Rezonantna frekvencija većeg rezonatora je bliska 125 Hz, kao što je bilo predviđeno projektom, a propusni opseg je oko 10 Hz. Rezonantna frekvencija manjeg rezonatora je oko 220 Hz (projektom je predviđeno 250 Hz), a propusni opseg je oko 20 Hz. To ukazuje da se njihov uticaj na zvučno polje može očekivati samo u okvirima njihovih propusnih opsega vidljivih na dijagramu. Činjenica je da se opseg delovanja rezonatora može širiti korišćenjem nekog apsorpcionog materijala, ali proširivanje selektivnosti

rezonantnog procesa neumitno smanjuje eventualni efekat apsorpcije zvuka na rezonantnoj frekvenciji. Rezultat merenja sa slike 4 pokazuje da je sa aspekta akustičkog odziva u prostoru hrama eventualni dobitak takvom modifikacijom upitan.

III. KARAKTERISTIKE ZVUČNE POBUDE KOJA SE JAVLJA U HRAMU

Potencijalni doprinos ugrađenih rezonatora u akustičkom odzivu hrama, sa njihovim izmerenim rezonantnim odzivima, zavisi od zvučnih sadržaja koji se pojavljuje tokom službi. Da bi se to razjasnilo izvršena je frekvencijska analiza uzoraka zvučnih signala koji se pojavljuju tokom službe u srpskim pravoslavnim crkvama, i kojim se pobuđuje njihov prostor. Za analizu su uzeti liturgijsko pevanje hora i pojanje sa pevnice. Da bi rezultati takve analize bili primenjivi moraju se posmatrati izvorni akustički signali koje emituju glasovi kao zvučni izvori, to jest bez uticaja ambijenta koji promenama u frekvencijskom i vremenskom domenu utiče na karakter zvuka koji se čuje. Zbog toga su upotrebljeni snimci bliski anehoičnim, napravljeni u jednom ranijem istraživanju, pa su primenjeni i za potrebe ove analize. Pojanja su snimljena u crkvenom prostoru, ali sa vrlo bliskim mikrofonom. Na taj način je u dobijenom signalu potisnut uticaj ambijenta karakterističnog za crkve. Pevanje hora je snimljeno u relativno maloj prostoriji za probe koja je prigušena izvesnom količinom apsorpcionog materijala. Dugovremeni spektri šest uzoraka takvih signala prikazani su na slici 5.



Sl.5. Dugovremeni spektri segmenata liturgije koju peva hor i pojanja grupe pojaca: crne linije – pojanje sa pevnice, obojene linije – pevanje hora.

Dijagrami sa slike 5 pokazuju karakter zvuka kojim se uobičajeno pobuđuje prostor pravoslavnih crkava za vreme službe. Spektri u kome dominiraju muški glasovi, kao što je pojanje sa pevnice, imaju maksimum spektra u oktavi na 500 Hz, dok je u pevanju mešovitog hora maksimum energije u oblasti oktava sa centralnim frekvencijama na 500 Hz i 1 kHz, i sa opadanjem relativnog nivoa ka višim i nižim frekvencijama.

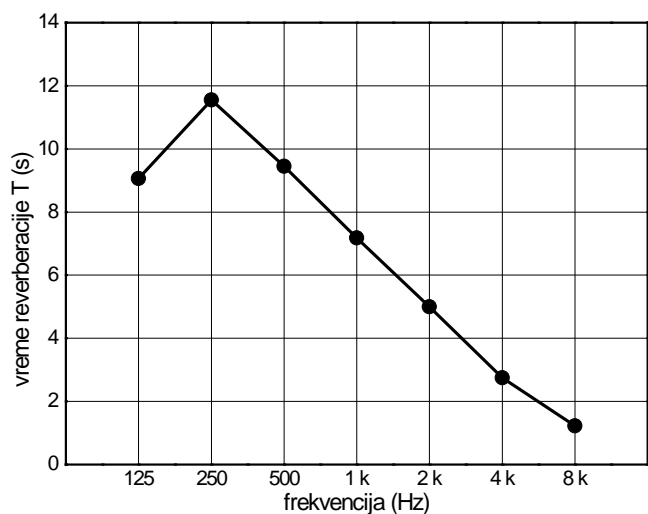
Upoređujući dugovremene spektre sa slike 5 sa rezonantnim svojstvima akustičkih rezonatora prikazanim na slici 4, zaključuje se da su oni podešeni na frekvencije ispod oblasti u

kojoj se nalazi maksimum energije glasova, a to znači maksimum zvučne pobude crkvenog prostora tokom službe. Takav zaključak je apostrofirani i u ranijem istraživanju akustičkih rezonatora pronađenih u srednjovekovnim srpskim crkvama [15]. Ovakva činjenica ograničava moguće auditivne efekte koje oni mogu ispoljavati u srpskim pravoslavnim crkvama, pa i u hramu Svetog Save.

IV. MERENJE U HRAMU PRE POSTAVLJANJA MOZAIKA

Da bi se utvrdilo realno stanje akustičkog odziva prostora hrama sa ugrađenim rezonatorima organizovano je merenje akustičkog odziva. Merenje je sprovedeno u dve seanse tokom 2010. godine. Bilo je to u fazi izgradnje hrama, kada je objekat u ugrađevinskom smislu bio završen, a pre početka većih radova na oslikavanju i ukrašavanju. Merenja su vršena tokom noći kada u njemu nije bilo posetilaca. Od dodatnih elemenata u hramu kojih neće biti u njegovom finalnom stanju tom prilikom su postojale skele u jednom delu prostora, manja količina građevinskog materijala ograđenog mrežama koja ih štiti i dizalica vidljiva na slici 1. Pod u to vreme nije bio popločan.

Merenje akustičkog odziva je izvršeno direktnom metodom, što znači da je za pobudu korišćen izvor impulsnog zvuka. U prostoru koji ima tako veliku zapreminu to je bio jedini dostupan način za njegovu pobudu neusmerenim zračenjem. Rezultat merenja vremena reverberacije prikazan je na slici 6, dobijen usrednjavanjem za nekoliko prijemnih i predajnih mesta u hramu.



S1.6. Rezultat merenja vremena reverberacije u hramu u fazi pre postavljanja mozaika.

Sa dijagrama na slici 6 može se uočiti nekoliko karakterističnih činjenica.

1. I pored postojanja rezonatora prostor hrama na nižim frekvencijama ima veliku vrednost vremena reverberacije, čak do 12 s u oktavi na 250 Hz. Vrednosti oko 10 s su konstatovane i u drugim tako velikim prostorima, kao na primer u Beogradskoj areni čija je unutrašnja zapremina oko 300.000 m³ [16]

2. U hramu ne postoje površine koje bi mogli doprineti povećanoj apsorpciji na niskim frekvencijama. To bi teorijski

mogle biti sve površine koje deluju kao mehanički rezonatori: drvene obloge, površine sa gipsanim pločama i slično. Činjenica je da u hramu postoje relativno velike površine vrata, podašćane zone i površine slične materijalizacije koje mogu u nekoj maloj meri doprineti apsorpciji najnižih frekvencija, ali je to po ukupnoj kvadraturi minorno u datoj zapremini. Zbog toga je pad vrednosti vremena reverberacije u oktavi na 125 Hz očigledna posledica delovanja rezonatora. Pa ipak, i pored svih tih uticaja vrednost vremena reverberacije je relativno velika, čak 9 s.

3. Uticaj rezonatora se u oktavi na 250 Hz iz nekih razloga ne primećuje, iako dijagram sa slike 3 pokazuje da je oko polovina od njihovog ukupnog broja podešena na frekvenciju koja se nalazi upravo u tom opsegu. Razlog tome može biti suviše uzak propusni opseg rezonatora u odnosu na ukupnu širinu oktave na 250 Hz koja je oko 170 Hz (od oko 180 Hz do oko 350 Hz). Njegov doprinos sa delovanjem u opsegu širine od samo 20 Hz očigledno se ne primećuje u usrednenoj oktavnoj vrednosti vremena reverberacije.

4. Modelovanje funkcije usamljenog rezonatora ugrađenog u masivnom zidu pokazuje da je maksimalno moguća vrednost ekvivalentne apsorpcione površine koju on ispoljava [17]:

$$A = \frac{\lambda_0^2}{2\pi} [\text{m}^2]$$

Ova vrednost se dostiže samo ako je dizajn rezonatora optimalan. To znači da će udeo rezonatora u ukupnoj apsorpciji prirodno da opada sa frekvencijom. To može biti objašnjenje manje vidljivosti uticaja rezonatora na vreme reverberacije u oktavi na 250 Hz u odnosu na oktavu na 125 Hz.

5. Monotoni pad vrednosti vremena reverberacije na višim frekvencijama jasno je određen uticajem disipacije u vazduhu, jer u enterijeru hrama nema poroznih materijala koji bi uneli takvu apsorpciju. To znači da je kriva vremena reverberacije u toj oblasti frekvencija u izvesnoj meri promenljiva u funkciji promene vlažnosti i temperature vazduha, ali da ima očekivani monotoni pad ka višim frekvencijama počev od oktave 250 Hz.

V. ANALIZA MOGUĆEG DOPRINOSA REZONATORA U HRAMU SIMULACIJOM ZVUČNOG POLJA

Da bi se procenila mogućnost predikcije efekta ugrađenih rezonatora u prostoru hrama sprovedena je analiza proračunima. Za to su primenjena dva pristupa:

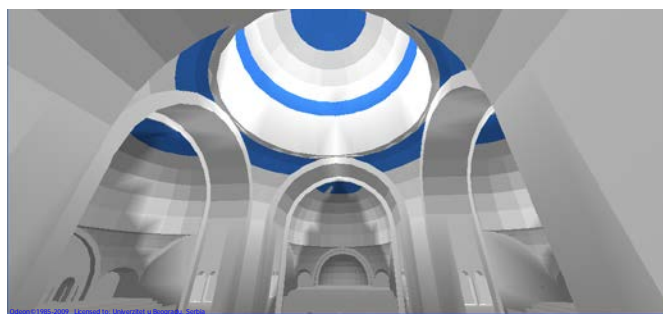
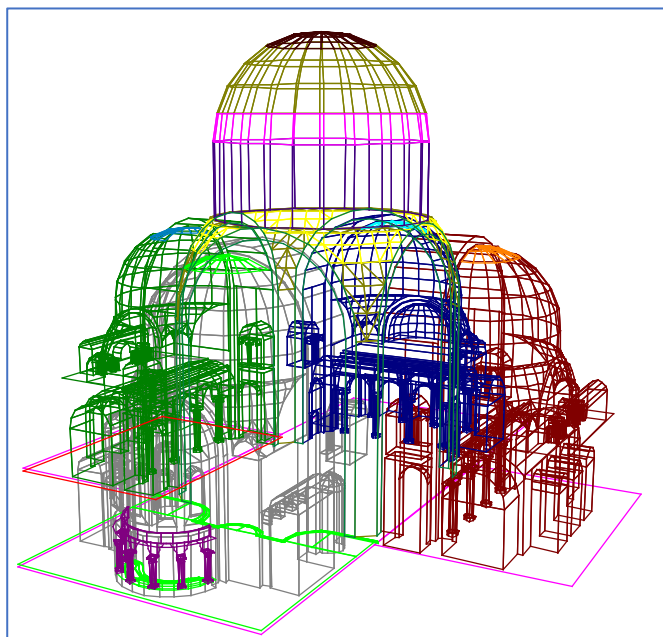
- simulacijom zvučnog polja u softverskom modelu njegove unutrašnjosti pomoću rej-trejsing analize i
- pomoću statističkog modela zvučnog polja koristeći poznatu Sabinovu formulu za vreme reverberacije u prostoriji.

Za potrebe rej-trejsing simulacije napravljen je model unutrašnjosti hrama čiji je izgled prikazan na slici 7. Unutrašnjim površinama dodeljene su procenjene vrednosti koeficijenta apsorpcije koristeći podatke iz literature [18]. Za potrebe proračuna posebno je izvršena procena vrednosti koeficijenta apsorpcije površina sa ugrađenim rezonatorima, tačnije izračunavanje njihove apsorpcione površine, da bi se to primenilo u ovim modelima.

Rezultat proračuna vremena reverberacije metodom rej-trejsing i Sabinovom formulom prikazan je na slici 8. Radi

poređenja, na dijagramu je ucrtan i rezultat merenja sa slike 6. Na osnovu ovih rezultata može se izvesti nekoliko važnih zaključaka.

1. U oktavi na 125 Hz izmerena vrednost vremena reverberacije poklapa se sa rezultatom proračunom za obe primenjene metode modelovanja.



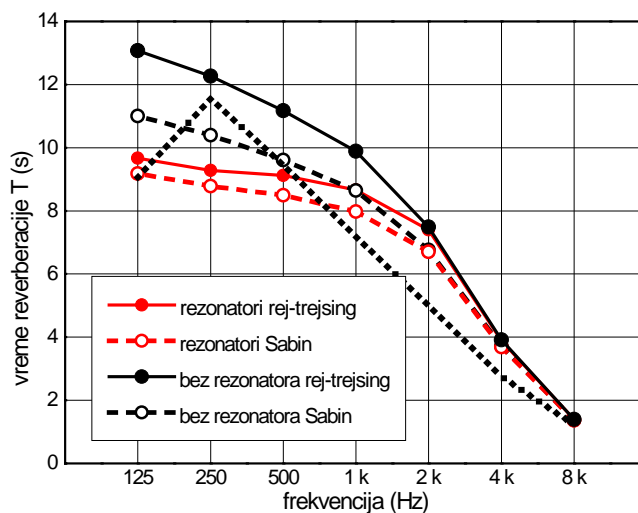
Sl.7. Izgled softverskog modela unutrašnjosti hrama u kome je izvršeno modelovanje zvučnog polja metodom *rej-trejsing*: gore – žičani model, dole – model sa unetom materijalizacijom gde je vrednost koeficijenta apsorpcije kodovana bojama.

2. U oktavi na 250 Hz izmerena vrednost vremena reverberacije se približno poklapa sa vrednostima izračunatim za slučaj hrama bez rezonatora. Preciznije, izmerena vrednost je između vrednosti dobijenih Sabinovom formulom i *rej-trejsing* simulacijom za slučaj bez rezonatora.

3. Na višim frekvencijama proračuni po obe metode premašuju izmerene vrednosti. To može biti posledica dva faktora: razlike u proceni disipacije u vazduhu i činjenice da u nedovršenom hramu neke površine ipak imaju izvesnu poroznost koja može imati uticaja na apsorpciju viših frekvencija, a što nije moglo biti sagledano u primenjenim proračunima.

VI. MERENJA U ZAVRŠENOM PROSTORU HRAMA

Da bi se zaokružila slika o mogućim efektima rezonatora na akustički odziv hrama potrebno je izvršiti finalno merenje akustičkog odziva u njemu. Uslovi za takvo merenje su se stekli tek nedavno, nakon finalizacije oslikavanja i nekih drugih bitnih detalja. Time su svi otvori ugrađenih rezonatora zatvoreni masivnim slojem materijala od koga je načinjen mozaik. Nažalost, sticajem raznih okolnosti organizacione prirode to merenje još uvek nije izvršeno.



Sl.8. Rezultati proračuna vremena reverberacije u hramu za slučaj sa i bez uticaja ugrađenih rezonatora: proračuni su urađeni na dva načina: metodom *rej-trejsing* i pomoću Sabinove formule; tačkasto je ucrtan rezultat merenja u hramu.

VII. ZAKLJUČAK

Iz analize uticaja akustičkih rezonatora u hramu Svetog Save u Beogradu proizašlo je nekoliko zaključaka koji se odnose na tu temu, ali i na šire aspekte akustike.

1. Pokazalo se da su rezonantne frekvencije primenjenih rezonatora ispod oblasti frekvencija gde se dominantno nalazi najveći dio energije glasova horskog pevanja i pojanja. To potvrđuje ranije zaključke koji su prizašli iz studije akustičkih rezonatora u srednjovekovnim srpskim crkvama.

2. Rezultati sprovedenih proračuna i njihovo poređenje sa rezultatima merenja u izgrađenom hramu pokazuju da postoji problem tačnosti modelovanja zvučnog polja i predikcije akustičkog odziva tako velikih prostora kao što je hram Svetog Save (117.000 m³). Očigledno je da u projektovanju to zahteva poseban istraživački pristup. Sličan zaključak je već ustanovljen prilikom projektovanja Beogradske arene [16].

3. U veoma velikim prostorima kao što je hram nemoguće je da se služba odvija bez primene sistema za ozvučavanje. Naime, ne postoje sredstva akustičkog dizajna prihvatljiva u kanonizovanom crkvenom prostoru koja bi mogla da vreme reverberacije svedu na optimalnu meru za takve ambijente (2-3 s) [7].

4. Savremena tehnologija daje mogućnost primene vrlo usmerenih zvučnih sistema kakvi su danas uobičajeni u sistemima za ozvučavanje, koji kombinovani sa bliskim mikrofonomima na sveštenicima i pojcima omogućavaju minimizaciju uticaja akustičkog ambijenta na ono što će se čuti

na pozicijama slušaoca. Na taj način danas je u izvesnom smislu eliminisana neophodnost podešavanja vremena reverberacije u vrlo velikim verskim prostorima kakav je hram, što se odražava i na eventualnu ideju o primeni rezonatora.

LITERATURA

- [1] <https://hramsvetogsave.rs/>
- [2] M.Kayili, "Use of cavity resonators in Anatolia since Vitruvius", Proc. 7th International Congress on Sound and Vibration, Garmisch-Partenkirchen, 1621-8 (2000)
- [3] T.Pretlove, "Helmholtz resonators for the new Russian Orthodox church in London", Acoustic Bulletin, London, January/February (1998)
- [4] A.Carvalho, V.Desarnaulds, Y.Loerincik, "Acoustic behavior of ceramic pots used in middle age worship spaces - a laboratory analysis", Proc. 9th International Congress on Sound and Vibration, Garmisch-Partenkirchen, 1621-8 (2000)
- [5] S.Nenadovic, "Rezonatori u crkvama srednjovekovne Srbije", Zbornik Arhitektonskog fakulteta Univerziteta u Beogradu (1960) sveska V
- [6] M.Bajalovic-Hadzi-Pesic, "Keramika u srednjovekovnoj Srbiji", Muzej grada Beograda, (1981) 71-73
- [7] M.Mijic, V. Banjac, "O ulozi ugrađenih akustičkih rezonatora u srpskim crkvama na primeru Gornje crkve u Sremskim Karlovcima", Građa za proučavanje spomenika kulture Vojvodine XX, Novi sad (1999) 87-104
- [8] M.Mijic, D. Sumarac-Pavlovic, "Acoustic resonators in serbian orthodox churches", Proc. Forum Acusticum, Sevilla (2002) RBA-05-001-IP
- [9] D.Kalic, "Acoustic resonators in Serbian medieval churches ", Proc. II Joint meeting of Greek and Yugoslav Acoustical Societies (1984), Proceedings, 91-97
- [10] D.Kalić, "Akustika hrama Svetog Save", Izgradnja, No 1 (1993) 23-29
- [11] J.Holtmark, "The absorption and diffusion of sound by resonators", I Kommissjon hos Jacob Dybwad, Oslo (1946)
- [12] A.K.Nielsen, "Acoustic resonators of circular cross-section and with axyal symmetry", Trans. of the Danish Academy of Technical Sciences, No 10 (1949)
- [13] A.Alster, "Improved calculation of resonant frequencies of Helmholtz resonators", Journal of Sound and Vibration, Vol. 24, No 1 (1972) 63-85
- [14] G.R.Biggs, "The three dimensional cavity resonator", Journal of Sound and Vibration, Vol. 85 (1982) 85-103
- [15] Miomir Mijić, Dragana Šumarac-Pavlović, „Acoustic Resonators in Serbian Orthodox Churches“, poglavlje u monografiji „Collected Papers in Building Acoustics: Room Acoustics and Environmental Noise“, Multi Science Publishing Co., London, 2010, 141-156
- [16] M.Mijić, Dragana Šumarac-Pavlović, "Acoustic design of the Belgrade Arena hall", FORUM ACUSTICUM, Budimpešta, 2005. Proceedings, 2399-2404
- [17] U.Ingard, "On the Theory and Design of Acoustic Resonators", JASA, Vol.25, NO 6 (1953) 1037-1061
- [18] M.Mijić, „ELA 1 – Koeficijenti apsorpcije materijala“, Laboratorija za akustiku Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, 1998.

ABSTRACT

Acoustic resonators are elements that have long been used in churches with the idea of using them to control the acoustic response of the worship space. The project of the Saint Sava temple in Belgrade included the installation of 476 specially designed resonators in order to reduce the expected reverberation. During the construction of the mosaic with which the temple was painted, such a large number of resonators with relatively large diameter of opening made it difficult to assemble the stone elements of the mosaic. Due to that, the question of their necessity and purposefulness in the temple arose. So, the research of the built-in resonators' real acoustic efficiency in the temple and the acoustical risk of their termination was initiated. The paper describes the results of the research and the achieved conclusions.

On the role of acoustic resonators in the temple of Saint Sava in Belgrade

Dragana Šumarac Pavlović, Miomir Mijić, Jelena Erdeljan, Tatjana Miljković