



**Zbornik izabranih radova i izvoda  
Prvi naučni skup**

**Multidisciplinarni pristup kulturnoj baštini,  
savremenim materijalima i tehnologijama**

**Beograd, 2017.**

Zbornik izvoda i izabranih radova Prvog nacionalnog naučno-stručnog skupa  
MULTIDISCIPLINARNI PRISTUP KULTURNOJ BASTINI, SAVREMENIM MATERIJALIMA I  
TEHNOLOGIJAMA  
03. Jun 2017. god. u Beogradu

Izdavač:  
Centralni institut za konzervaciju, Beograd  
Terazije 26, 11000 Beograd  
Naučno društvo za razvoj i afirmaciju novih tehnologija, Beograd  
Partizanski put 165,  
11230 Sopot  
Srbija

Štampa:  
Centralni institut za konzervaciju, Beograd  
Naučno društvo za razvoj i afirmaciju novih tehnologija, Beograd  
Štampano u Beogradu.

Editori:  
dr Sanja Petronić  
dr Suzana Polić

Zbornik sadrži radove koje su pregledali i prihvatili recenzenti za usmenu prezentaciju na Prvoj naučno-stručnoj konferenciji „Multidisciplinarni pristup kulturnoj baštini, savremenim materijalima i tehnologijama“ održanoj u Beogradu 03. juna 2017. godine.  
Svi radovi su recenzirani.

Autori su odgovorni za tačnost i sadržaj objavljenih radova.

Tiraž 200 primeraka

Copyright: © 2017 Centralni institut za konzervaciju, Beograd i Naučno društvo za razvoj i afirmaciju novih tehnologija, Beograd

ISBN 978-86-6179-055-3

Zabranjeno kopiranje i umnožavanje. Sva prava zadržava izdavač

Organizatori:

Centralni institut za konzervaciju, Beograd

Terazije 26, 11000 Beograd

Naučno društvo za razvoj i afirmaciju novih tehnologija, Beograd

Naučni odbor:

Dr Milesa Srećković, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet

Dr Andjelka Milosavljević, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet

Dr Sanja Petronić, viši naučni saradnik, Inovacioni centar Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu

Dr Suzana Polić, viši naučni saradnik, Centralni institut za konzervaciju, Beograd

Dr Valentin Birdeanu, National R&D Institute for Welding and Material Testing - ISIM Timișoara, Romania

Dr Slobodan Bojanić, profesor, Universidad Politecnica de Madride, Spain

Dr Ami Barr, Brown University, USA

Dr Svetlana Pelemiš, vanredni profesor, Univerzitet Istočno Sarajevo, Tehnološki fakultet Zvornik

Dr Magdalena Dragović, vanredni profesor, Građevinski fakultet Univerzitet u Beogradu

Dr Meri Burzić, naučni savetnik, Inovacioni centar Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu

Dr Olivera Erić-Cekić, viši naučni saradnik, Inovacioni centar Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu

Dr Tatjana Sibalija, redovni profesor, Metropolitan Univerzitet, Beograd, Srbija

Dr Nedžad Rudonja, docent, Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet

Dr Radomir Jovičić, naučni saradnik, Inovacioni centar Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu

Organizacioni odbor:

Dr Sanja Petronić, viši naučni saradnik, Inovacioni centar Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu

Dr Suzana Polić, viši naučni saradnik, Centralni institut za konzervaciju, Beograd

Dimitrije Maljević, student, Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet

Luka Jovanović, student, Univerzitet u Beogradu – Ekonomski fakultet

Maša Mijatović, student, Fakultet za medije i komunikaciju, Univerzitet Singidunum

## **PREDGOVOR**

Prva Naučno-stručna Konferencija pod nazivom „Multidisciplinarni pristup kulturnoj baštini, savremenim materijalima i tehnologijama“, nastala je i održana je zajedničkim radom i idejama Udruženja „Naučno društvo za razvoj i afirmaciju novih tehnologija“ iz Beograda i Centralnog instituta za konzervaciju iz Beograda.

Konferencija je održana 03. juna 2017. god u prostorijama Centralnog instituta za konzervaciju, Terazije 26 u Beogradu.

Ideja konferencije je proistekla iz potrebe za povezivanjem kulturne baštine sa savremenim materijalima, tehnologijama i metodama ispitivanja.

Zbornik obuhvata izabrane radove i izvode izloženih na samoj Konferenciji, pregledanih i prihvaćenih od recenzenata kojima se ovom prilikom zahvaljujemo. Naučni radovi su obuhvatili više naučnih oblasti.

Obzirom na raznovrsnost metoda i pristupa ispitivanja koje su publikovane u ovom Zborniku, verujemo da će mnoga saznanja naći svoju primenu kako u drugim naučnim disciplinama tako i neposredno u praksi.

Radovi su izloženi i odštampani na srpskom i na engleskom jeziku.

U organizaciji Konferencije, ali i pisanju i prezentaciji radova učestvovalo je nekoliko studenata, čime je ispunjen jedan od važnih ciljeva postojanja Udruženja „Naučno društvo za razvoj i afirmaciju novih tehnologija“ i Centralnog instituta za konzervaciju.

Editori se zahvaljuju svim autorima na učešću.

## SADRŽAJ

1. MULTIDISCIPLINARNI PRISTUP PROJEKTOVANJU I ISPITIVANJU BIOMEHANIČKIH KARAKTERISTIKA PARCIJALNE PROTEZE KUKA,  
Katarina G. Čolić.....1
2. NEKE PRIMENE OPTIČKIH METODA KAO PODRŠKA U KONZERVACIJI I RESTAURACIJI OBJEKATA KULTURNE BAŠTINE  
Aleksander Kovačević.....18
3. UTICAJ MIHAILA PETROVIĆA ALASA NA DRUŠTVENI RAZVOJ  
Ljubinko Janjušević, Suzana Polić.....26
4. PRORAČUN NAPONSKO – DEFORMACIONOG STANJA KOMPOZITNIH STRUKTURA SA SAĆASTOM ISPUNOM  
Mirko Dinulović, Aleksandar Grbović, Danilo Petrašinović.....33
5. APPLICATION OF DIGITAL GRAPHICS TOOLS AND CONTACTLESS MEASURING INSTRUMENTS IN 3D SCENE RECONSTRUCTION  
Magdalena Dragović, Aleksandar Čučaković, Milena Davidović, Jelena Pandžić, Mirjana Božić, Darko Vasiljević, Milesa Srećković .....42
6. ZAŠTITA INDUSTRIJSKOG NASLEĐA: ELEKTROMAGNETNO I ULTRAZVUČNO ISPITIVANJE POLOMLJENOG KOLENASTOG VRATILA BRZE PRESE ZA DUBOKO IZVLAČENJE  
Zoran Karastojković, Slobodan Čubrilović, Nikola Bajić, Zoran Janjušević, Suzana Polić.....48
7. PRIMENA LUMINISCENTNIH PROCESA U IDENTIFIKACIJI MATERIJALA OD INTERESA ZA KULTURNU BAŠTINU I DEJSTVO NUKLEARNIH ZRAČENJA NA TERMOLUMINISCENTNE KARAKTERISTIKE  
Miloš Pavlović, Zdravko Veinović, Milesa Srećković, Sanja Jevtić, Milena Davidović, Slađana Pantelić.....54
8. TREE QUALITY TESTING  
Slađana Karac and Predrag Jovanic .....60
9. TEHNIČKI ASPEKTI POJAČAVAČA SLIKE I NJEGOVA POTENCIJALNA ULOGA U KOMPARACIJI PROBLEMATIKE OBRADU I PRENOSA SLIKE  
Zoran Fidanovski, Milesa Srećković, Dragan Knežević, Aleksandar Bugarinović, Slađana Pantelić, Marija Hribšek .....64
10. TERMOVIZIJSKA ANALIZA RAZVIJENIH TEMPERATURA NA RAZLIČITIM TIPOVIMA MATERIJALA I ZAVISNOST OD TALASNE DUŽINE UPADNOG LASERSKOG SNOPA  
Milesa Srećković, Suzana Polić, Zoran Stević, Aleksander Kovačević, Ružica Vasić, Zoran Karastojković, Nada Borna, Srđan Milanović, Sanja Jevtić.....70

11. CONTEMPORARY METHODS IN LONG RANGE AND IN SITU MATERIAL DEFINITION AT VARIOUS LOCATIONS OF CULTURAL HERITAGE SIGNIFICANCE Milesa Srećković, Amy Barr Mlinar, Lazar Kričak, Stanko Ostojić, Suzana Polić, Magdalena Dragović, Aleksandar Čučaković.....	84
12. ZDRAVSTVENA KULTURA I INFORMACIONE TEHNOLOGIJE: IDEJNO REŠENJE REGISTRA ZA SKRINING (na srpskom) Tamara Naumović, Verica Jovanović, Saša Malkov, Igor Grkavac, Rajko Korićanac, Živko Perišić.....	95
13. HEALTH CULTURE AND INFORMATIONAL TECHNOLOGIES IN MEDICINE: PROTOTYPE OF SCREENING REGISTRY (in English) Tamara Naumovic, Verica Jovanovic, Sasa Malkov, Igor Grkavac, Rajko Koricanic, Zivko Perisic.....	97
14. THE USE OF NEW TECHNOLOGICAL DEVICES IN TESTING AND EDUCATION OF YOUNG CHILDREN (in English) Svetlana Čičević, Magdalena Dragović, Aleksandar Trifunović, Dragan Lazarević, Momčilo Dobrodolac.....	99
15. KORIŠĆENJE NOVIH TEHNOLOŠKIH UREĐAJA ZA TESTIRANJE I EDUKACIJU DECE (na srpskom) Svetlana Čičević, Magdalena Dragović, Aleksandar Trifunović, Dragan Lazarević, Momčilo Dobrodolac.....	100
16. TRANSFORMACIJE TEHNOLOGIJA U RAZVOJU ŽELEZNICA I TREND Sanja Jevtić.....	101
17. PRODUCTION AND SALES OF MOTOR VEHICLES IN THE WORLD A BRIEF OVERVIEW AND TENDENCY Živojin Petrović, Predrag Petrović, Vuk Velisavljev.....	102
18. TEŠKOĆE I MOGUĆI PRILAZI U SIMULIRANJU TERMALNIH PROCESA IZAZVANIH IZLAGANJU KERAMIČKIH MATERIJALA SNOPOVIMA ND:YAG LASERA U Q-SWITCH REŽIMU Milovan Janićijević.....	103
19. DETERMINATION OF PROCESSING WINDOW FOR ADI MATERIALS ALLOYED WITH COPPER, NICKEL AND MOLYBDENUM Olivera Eric Cekic, Dragan Rajnovic, Leposava Sidjanin.....	104
20. UTICAJ MEHANIČKE OBRADU LASEROM NA RAST PRSLINE USLED ZAMORA NA UZORCIMA LEGURA TITANA Sanja Petronić, Branislav Đorđević, Katarina Čolić, Anđelka Milosavljević.....	105
21. PRIMENA METODE KONAČNIH ELEMENATA NA MEHANIČKU OBRADU LASEROM LEGURE TITANA Katarina Čolić, Filip Vučetić, Sanja Petronić.....	106



## SAVREMENE METODE U DALJINSKOJ I IN SITU DEFINICIJI MATERIJALA U RAZNIM LOKACIJAMA OD INTERESA ZA KULTURNU BAŠTINU

Milesa Srećković<sup>1</sup>, Amy Barr Mlinar<sup>2</sup>, Lazar Kričak<sup>3</sup>, Stanko Ostojić<sup>1,4</sup>, Suzana Polić<sup>5</sup>,  
Magdalena Dragović<sup>6</sup> and Aleksandar Čučaković<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Electrical Engineering, University of Belgrade,

<sup>2</sup> Brown University, USA

<sup>3</sup> Faculty of Mining and Geology, University of Belgrade, Serbia

<sup>4</sup> High Technical Schole, Tehnikum Taurunum, Zemun, Serbia,

<sup>5</sup> Central Institute for Conservation, Belgrade, Serbia

<sup>6</sup> Faculty of Civil Engineering, University of Belgrade, Serbia

**Apstrakt.** U istraživanju materijala u čvrstom stanju raznih gabarita, od relativno malih objekata do naslaga ispod građevina, ili uopšte, istorijski se, od potpuno nezavisnih metoda merenja iz oblasti mehaničkih ispitivanja, preko akustičkih (ultrazvuk), danas prešlo na nove metode koje uključuju optičke prilaze. Gotovo paralelna istraživanja u sprezi optike i akustike se i na molekularnom nivou (razblaženi i koncentrovani rastvori malih molekula i makromolekula, polimera, emulzije, micle) proučavaju putem procesa rasejanja laserskih snopova. Poslednji stadijum je vezan za metode merenja koherentnih snopova, koje vezuju i velika gustina snage i spektralna gustina i energije i snage.

Primena metoda talasne optike i razni stepeni kompleksnosti pojava, koje uključuju refleksiju, interferenciju i difrakciju (uz deskripciju polarizacije), već dugo podrazumeva specifične pristupe za profesionalna ispitivanja u mašinstvu i građevinarstvu. To znači da je s obzirom na širinu pojma kulturne baštine, sva ova iskustava je moguće iskoristiti i za objekte kulturne baštine.

U radu se opisuju, vrši izbor i pokazuju neke mogućnosti metoda, gde se uz seizmiku pojavljuju laserske metode. Za posebna izvršena merenja akustičkih podataka o materijalu objekata kulturne baštine, vrši se procena njihovih mehaničkih osobina (elastičnih modula) i traži skup drugih konstanti koje će upotpuniti prirodu artefakta.

**Ključne reči:** Laser, mehaničke osobine, optoakustika, holografija.

### UVOD

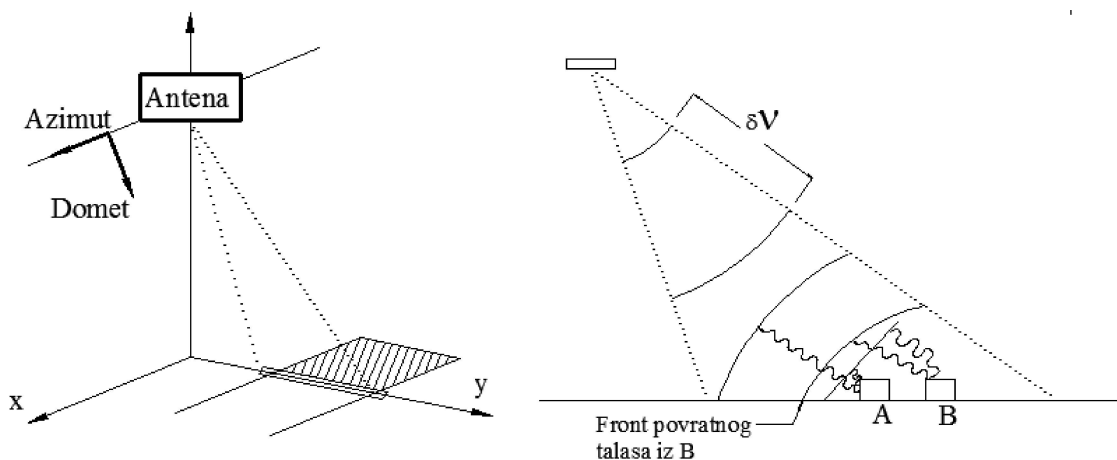
Tehnologija daljinske detekcije aktivnim sensorima se zasniva na ekstrakciji sirovih podataka sa radara (radargrama), analize procedura za estimaciju parametara i simultanim procesima. Automatizovana interpretacija geoprostornih podataka, primenom daljinske detekcije aktivnim sensorima, predstavlja važan korak u procesu kompletiranja prostorne baze podataka, čija sadržina obuhvata karakteristike: površinskog, podpovršinskog sloja zemljišta i vodne sisteme do dubine od interesa.

Klasifikacija tehnologije daljinske detekcije se vrši prema prirodi i frekvenciji talasa, iza branog senzora. Radi se o propagaciji ultrazvučnih, mehaničkih i elektromagnetnih EM talasa. Daljinske detekcije putem akustičkih – ultrazvučnih talasa se primenjuju za vodne ne sisteme i detekciju podzemnih objekata. Radi se o primenama metoda seizmike, koja je imala razvijene svoje klasične metode sa poznatim nedostacima i granicama tačnosti. Primena laserskih metoda baziranih na holografiji je već više desetina godina seizmičke rezultate interpretira na bazi prebacivanja u holograme. Poznata su istraživanja kojim se putem razvijenih paketa programa dolazi do podataka podzemnih rezervi nafte, gasa i sastava tla sa transformacijama seizmogram

- hologram. Kod tehnologije daljinske detekcije sa EM talasima radi se na metodama - lidarskim (dial, COLIDAR, lidar sa be-lom svetlošću) i metodama skeniranja koherentnim zračenjem. Metode pomažu za formiranje i dobijanje geometrije površinskog sloja sa visokom tačnošću. Ovako se dobijaju precizni digitalni modeli terena (Digital terrain model -DTM i kreiraju [7] virtuelni gra-dovi i koridori za analizu urbanih i ruralnih, hidroloških tokova pri normalnim i ekstremnim vremenskim uslovima. U mikrotalasnom opsegu (prema literaturi obuhvataju opseg od talasnih dužina reda 1mm, odnosno 3cm-30cm) radari (*radio detection and ranging*), se koriste za opšte i geometrijske karakteristike površinskih i podpovršinskih slojeva. Tačnost određivanja zapreminskog dela prisustva vlage i prostorna distribucija za -visi od tačnosti određivanja geometrijskih karakteristika. Široka primena radarskih tehnika je dovela do niza specifičnih metoda [1-10, 28].

SAR (Synthetic Aperture Radar) antena je na velikom rastojanju od površinskog sloja; istorijski je povezana sa vojnim primenama i u konstantnom je razvoju. Primene u dubinskim istraživanjima danas se kreću u rasponu od nekoliko desetina metara do jednog metra. U ovim istraživanjima su metode izbora vezane za standardne tehnologije daljinske detekcije sa pasivnim sensorima ( sa satelita ili letelica), koje omogućavaju oslikavanje površinskih slojeva, detekciju ciljnih objekata ispod šumskog pokrivača, mapiranje potpovršinskih struktura od interesa za arheologiju i kulturnu baštinu uopšte. Arheološke iskopine uz šarolikost njihovih lokacija, predmeti zatrpani prirodnim nepogodama, kao i nekropole su ciljni objekti, čije se istraživanje već dugo rešava varijacijama snopnih tehnika na bazi elektromagnetnih spontanih i koherentnih snopova i nuklearnim zračenjima i česticama (propagacijom neutrona). Georadarske metode imaju specijalan značaj u okviru očuvanja kulturne baštine (srednjevekovnih sakralnih objekata, nekropola, akvadukta, starih naseobina ispod postojećih naseljenih mesta). Za očuvanje kulturne baštine su od interesa: stanje podzemnih voda, litološki slojevi, debljine raznih slojeva uopšte, podzemni delovi flore i vrste stena. Postoje zajedničke metode koje uključuju arheološka, forenzička, vojna, civilna (*mass media*), kao i svemirska istraživanja, pa su pojedinačni rezultati širih konotacija.

Na sl.1 je dat princip metode SAR, gde je rezolucija i korekcije obrade signala predmet proučavanja, sl.2. [7].



Slika 1. Princip SAR metode, i geometrija za opis rezolucije.

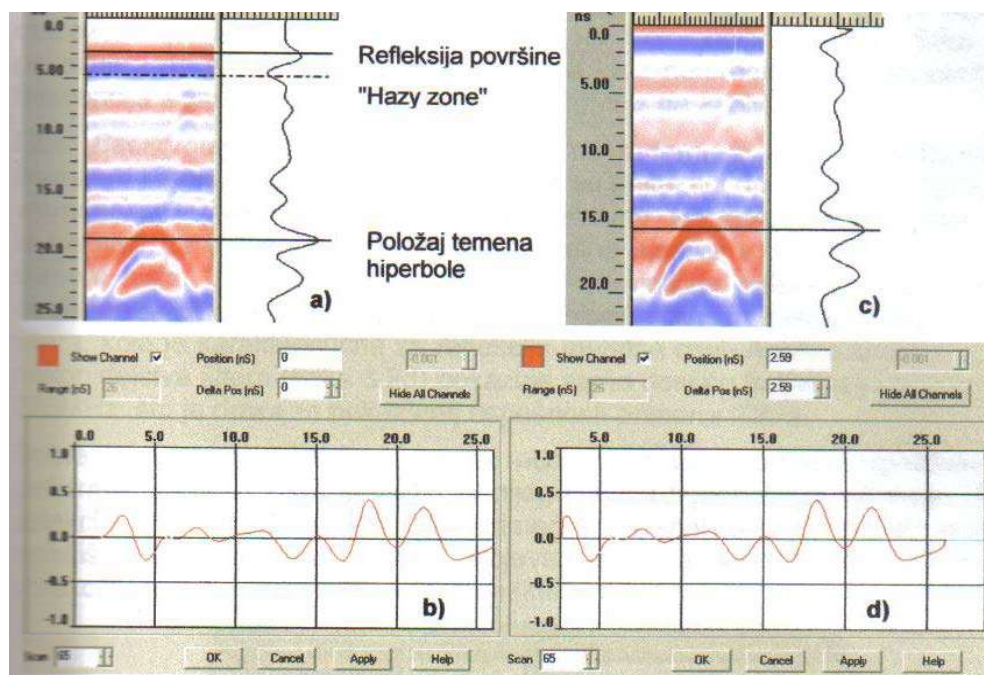


Za merenja su od interesa karakteristične veličine medijuma na frekvenciji vezanoj za primenu i svrhu pojedine izabrane tehnike (Tabela 1). Radi se o funkcijama odziva materijala: dielektričnoj propustljivosti, električnoj provodnosti i koeficijentu slabljenja signala elektromagnetskog snopa koji emituje uređaj.

Postoje velike smetnje prouzrokovane šumovima razne prirode, koje se filtriraju na odgo varajuće načine. Zato se radargrami daju u vremenskom i frekventnom domenu i vezuju za postojanje horizontalnih slojeva i sistemski šumom niske frekvencije. Dolazi do pogrešnih interpretacija vezanih za teme hiperbole i dr. [7] Estimacija rezultata putem rada sa georadarima podrazumeva razne metode, koje se razvijaju u odnosu na specifičnosti geometrije objekata. Realizacija nekih novih predloženih metoda (iz literature) se vrši u 3 koraka: a) na osnovu ulaznih podataka primenom aproksimacije najmanjih kvadarata ( a moguće je i na više drugih načina, pomoću medijane i sl.); određuju se temena hiperbole  $x_0, z_0$ , određenih svojstava. U koraku b) se određuje granična vrednost brzine. U koraku c) se inkrementalno smanjuje brzina  $v - v_{min}$ . Koristi se Matlab okruženje sa proverom na terenu [7,10].

Tabela 1 Karakteristike raznih medijuma pri 100 MHz

Materijal	Dielektrična konstanta $\epsilon_R$	Specifična provodnost $\sigma$ (S/m)	Koeficijent slabljenja $\alpha$ , dB/m
Glina suva	2-6	$10^{-1}$ -1	10-50
Glina vlažna	5-40	$10^{-1}$ -1	20-100
Ugalj suv	3,5	$10^{-3}$ - $10^{-2}$	1-10
Ugalj vlažan	8	$10^{-3}$ - $10^{-1}$	2-20
Granit suv	5	$10^{-8}$ - $10^{-6}$	0,5-3
Granit vlažan	7	$10^{-3}$ - $10^{-2}$	2-5
Krečnjak suv	7	$10^{-8}$ - $10^{-6}$	0,5-10
Krečnjak vlažan	8	$10^{-2}$ - $10^{-1}$	1-20
Pesak suv	2-6	$10^{-7}$ - $10^{-3}$	0,01-1
Pesak vlažan	10-30	$10^{-3}$ - $10^{-2}$	0,5-5
Peščanik suv	2-5	$10^{-6}$ - $10^{-5}$	2-10
Peščanik vlažan	5-10	$10^{-4}$ - $10^{-2}$	4-20
Glinovito zemljište suvo	4-10	$10^{-2}$ - $10^{-1}$	0,3-3
Glinovito zemljište vlažno	10-30	$10^{-3}$ -1	5-50
Ilovača suva	4-10	$10^{-4}$ - $10^{-3}$	0,5-3
Ilovača vlažna	10-30	$10^{-2}$ - $10^{-1}$	1-6
Peskovito zemljište suvo	4-10	$10^{-4}$ - $10^{-2}$	0,1-2
Peskovito zemljište vlažno	10-30	$10^{-2}$ - $10^{-1}$	1-5



Slika 2 Specifične korekcije time-zero [7].

## REZULTATI MERENJA BRZINE ZVUKA *NELASERSKIM* METODAMA

Na lokalitetu Slavkovića - manastir Vavedenja Presvete Bogorodice (slika 3) uz činjenice iz istorije, 3D modelovanje postojećeg crkvišta metodom fotogrametrije i nacrtu geometrijske analize su vršene pretpostavke o nekadašnjem izgledu manastira [11-13]. Poseban značaj ovom objektu daju i dva velika kamena sarkofaga čije se poreklo još istražuje. U cilju definisanja materijala od koga su manastir i okolina građeni uzeti su uzorci sa lokaliteta, sl. 3 i sl. 4.



Sl.3 Manastir u Slavkovići (centralna Srbija)

Vizuelno posmatranje je ukazivalo da je materijal peščar. Sprovedena akustička merenja posle pripreme uzoraka (sečenja) u geometriji pogodnoj za merenje su dovela do rezultata, Tab. 2. Merenja su vezana za specifičnu težinu i brzine longitudinalnih i transverzalnih talasa. Time su dobijeni podaci za mehaničke osobine materijala tipa modula elastičnosti i Poissonovog broja  $\mu$ .

Rezultati u tabeli su u saglasnosti sa formulama datim kasnije, pri čemu se operiše sa realnim Poissonovim koeficijentima. Probna tela su imala dužine: 54,0mm; 43,8mm i 28,0 mm. Procene pokazuju da je potrebno vršiti još dodatnih opisa materijala da bi se kvantifikovala građa objekta i vrsta. To važi i za vrednosti modula elastičnosti.



Slika 4 Uzorci iz okoline manastira

Tabela 2 Rezultati merenja i mehaničke osobine uzoraka

Redni broj probnog tela	Specifična težina (zapreminska težina) $s$ $kN/m^3$	Brzina longitu- dinalnih elastičnih talasa $V_p$ $m/s$	Brzina transverzalnih elastičnih talasa $V_s$ $m/s$	Dinamički modul elastičnosti $E_{dyn}$ $GN/m^2$	Poisson-ov koeficijent $\mu_{dyn}$ -
1	2	3	4	5	6
1.	26,58	5140	2510	45,05	0,34
2.	22,55	2250	1070	6,97	0,35
3.	26,52	4670	2150	33,58	0,36



Diskusija može da obuhvati: elastične osobine i konstante, brzine elastičnih talasa, akustički zapis interakcije laserskog snopa sa materijalom [16-22,26,27].

### 1. ELASTIČNE OSOBINE I KONSTANTE

Za vrlo male napone, prema uopštenom Hookovom naponu, deformacija je proporcionalna veličini priloženog napona [22].

$$\sigma_{ij} = c_{ijkl} \varepsilon_{kl},$$

$$i, j, k, l = 1, 2, 3$$

U inverznom obliku,

$$\varepsilon_{kl} = s_{kl ij} \sigma_{ij},$$

$c_{ijkl}$  i  $s_{ijkl}$  - tenzori četvrtog ranga;

Može se koristiti i u matričnoj formi sa odgovarajućim pravilima. Danas postoji detaljna veza između optoakustičkih, elektrooptičkih i magnetnooptičkih konstanti i njihovo mere nje koriste se i elastične konstante, koje se mere pri konstantnoj električnoj indukciji  $D_i$  ili električnom polju  $E$ . Definišu se i temperaturne zavisnosti ovih konstanti. Ste ne su složene od raznih minerala i u najboljem slučaju vezane za polikristale. Navešćemo još vezu sa indeksima prelamanja i vezi indeksa prelamanja sa brzinom elastičnih talasa.

#### Brzine elastičnih talasa

Longitudinalni i transverzalni talasi se izražavaju putem elastičnih koeficijenata, Laméovih ili drugih, a oni su odraz rešetke [27].

#### Veza sa indeksom prelamanja (optičkim)

$$n(\lambda) = A + BL + CL^2 + DL^3 + FL^4,$$

$$L = \frac{1}{\lambda^2 - 0,028}$$

odražava disperziju. Koeficijenti su karakteristika kristala, materijala čvrstog tela. Uz primenu laserskih linija dobija se brz odziv i preciznija veza za  $n(\lambda)$ .

Postoje izvedene teorijske veze između konstanti: elektrooptičkih, piezooptičkih i elastooptičkih osobina. Kerrov, Pockelsov, Faradejev i Cotton-Moutonov efekti su vezani za svoje karakteristične konstante i komponente indeksa prelamanja,

$$\Delta n \approx r_{ijk} E_k$$

koeficijenti 3-ćeg ranga.

#### AKUSTIČKI ZAPIS INTERAKCIJE LASERSKOG SNOPI SA MATERIJALOM

Pri interakciji snopa sa materijalom dolazi do raznih procesa među kojima su: razvoj plazme i akustičkih efekata. Prema aparaturi u kojoj se nalazi odgovarajući mikrofon, pogodan za razvijane frekvencije i performansama za optoaku za CV ili impulsnim laserima, snimljeni su za razne materijale odzivi tipa sl.5, u vremenskoj i frekventnoj skali. Ovo je rađeno za materijale raznih formi nepravilne i pravilne geometrije, u obliku diska u nekoliko

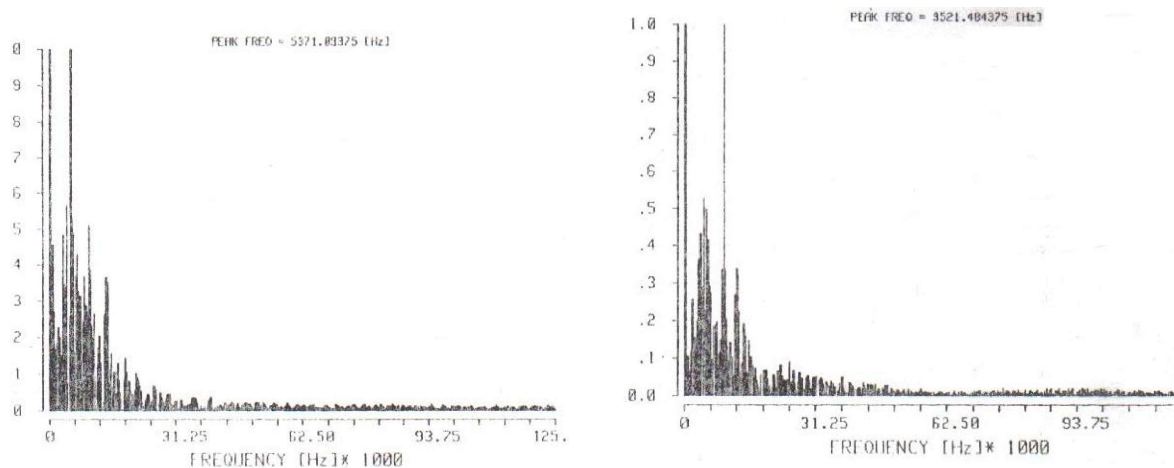


vremenskih trenutaka. Akustički signali su snimani pri interakciji u vazduhu. Eksperimenti su rađeni sa rubinskim i Nd:<sup>3+</sup>Yag laserima (2,5 J).

U Tab.3 su dati karakteristični parametri pri izlaganju čelične pločice impulsnom snopu energija 2,5;1,1 i 0,6 J, čiji su spektri predstavljani na slikama 5.

Tabela 3 Karakteristični parametri pri izlaganju čelične pločice impulsnom snopu energija

N <sub>a</sub>	N <sub>p</sub>	t <sub>p</sub>	Δ t <sub>1</sub>	Δ t <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	f <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	V, m/s	Uzorak	
2048	0	0	3	>8	1,9	0,8	16	5,4	C <sub>l</sub> =5800m/s	Čelik	
	500	2							C <sub>t</sub> =3370m/s		Y=86mm
	1000	2							C <sub>l</sub> =5500m/s		Y=26mm
								C <sub>f</sub> =200m/s	ρ=7200kg/m <sup>3</sup>		
2048	0	0	2	>8	0,89	0,4	17,8	4,2	„	„	
	500	2							9,5		
	1000	4							9,5		
2048	0	0	2	>8	1	0,5	17,8	5,4	„	„	
	500	2							5,4		
	1000	4							9,5		



Slika 5 Akustički zapisi na početku interakcije u frekventnom domenu za čelik a); t=0 i t=0,004s (b,c)

U Tab.3 su energije lasera bile redom odozgo naniže 2,5; 1,1 i 0,6 J. Tu je N<sub>s</sub>-broj tačaka a za obradu, N<sub>p</sub>-početno vreme, t<sub>1</sub> i t<sub>2</sub>- vremena impulsa sa mikrofona M<sub>1</sub> i M<sub>2</sub> redom, A<sub>1</sub> i A<sub>2</sub> - akustičke amplitude, f<sub>1</sub> i f<sub>2</sub> - dominantne frekvencije za FFT spektre [ ref].

**Neke formule za brzinu mehaničkih talasa su:**

-Kompresiona (longitudinalna) brzina talasa

$$c_l = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}}$$

Za  $\mu \ll 1$

$$1 - 2\mu \approx (1 - \mu^2),$$

pa kompresiona (longitudinalna) brzina talasa postaje

$$c_l = \sqrt{\frac{E(1 - \mu)}{\rho(1 + \mu)(1 - \mu)^2}}$$

-Skraćivanjem razlomka pod korenom sa  $(1 - \mu)$ , dobija se

$$c_l = \sqrt{\frac{E}{\rho(1 + \mu)(1 - \mu)}}$$

odnosno

$$c_l = \sqrt{\frac{E}{\rho(1 - \mu^2)}}$$

-Transverzalna brzina talasa

$$c_t = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1 + \mu)}}$$

-Kompresiona (longitudinalna) brzina talasa

$$c_f = \sqrt{\omega} \sqrt[4]{\frac{Ed^2}{12(1 - \mu^2)\rho}}$$

gde je  $\omega$  frekvencija,  $\mu = 0,25$  Poissonov koeficijent,  $\rho$  - gustina materijala,  $E$  - Youngov modul,  $d$  - debljina uzorka.

Kratka diskusija bi povezala prvu i drugu formulu. Prva formula se svodi na drugu za  $\mu \ll 1$ .

### Rayleigh Brillouinova spektroskopija

Monokristali elastičnih modula prirodnih uzoraka grossulara ( 99.0 mol %  $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$  i spessartite (94.8 mol %  $\text{Mn}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ ) su mereni Brillouinovom spektroskopijom u ambijentalnim uslovima. Adijabatski moduli  $K_s$  i moduli shear  $\mu$  su izračunati  $K_s = 168.4 \pm 0.7$ ,  $\mu = 108.9 \pm 0.4$  za grossular, i  $K_s = 178.8 \pm 0.8$ ,  $\mu = 96.3 \pm 0.5$  za spessartite (u GPa). Kalibracija spektra određivanjem elastičnih osobina MgO označava vrednosti ovog modula da su tačne u granicama 2x rms greške. Od ove silikatnog granata koji formira stene, spessartite ima veliki bulk modul, a grossular, sa mogućim izuzetkom, visok pritisak formirajući pyroxene). Aproximativne vrednosti za bulk i shear module od uobičajenih alumino silikatnih granata čvrsti rastvori mogu da se dobiju sa procenjenom nesigurnošću manje od 3% od linearne molarne sredine kraja čistog almanditnog grana ta na kraju reda ( $\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ ), koji nisu bili mereni i dobili su  $K_s = 177 \pm 3$  and  $\mu = 97 \pm 1$  GPa putem linearne regresije analize merenja granata čvrstih rastvora i poslednjih članova. Ovi isti podaci pokazuju da linearni moduli - sastav odnosi ne mogu da budu pogodni za sve sastave garneta. Tri linije Rayleigha, Brillouinova i Ramanova, (odnosno linije) se ne snižu na jednom uređaju već na tri nezavisna, jer su frekventno daleko. Međutim Rayleigha i Brillouinova će se naći zajedno na Brillouinovom spektrografu. Uključenje polarizovanosti linija daje nove mogućnosti [26, 27].

Neke formule za vezu kompresibilnosti i podataka iz rasejanja svetlosti (Rayleigh-evog, gde su  $\rho$  – koncentracija molekula,  $\alpha$  – srednja polarizabilnost,  $k$  – Boltzmannova konstanta,  $T$  – temperatura,  $F$  – faktor Coumoa,  $T$  – temperatura,  $F$  – faktor Coumou,  $\delta^2$  – relativna anizotropija je vezana izrazima tipa:

$$\delta^2 = \frac{5\rho kTK_T \rho_u}{6 - 7\rho_u}, \delta^2 = \frac{F_{aniz}}{\rho_u a^2}$$

P-koncentracija molekula,  $a$  – srednja polarizabilnost,  $k$  – konstanta Boltzmannova,  $T$  – Veza  $K_T$  – R je predstavljena sa 3 formule:

Sa pretpostavkom Lorentz-Lorenza ad je  $(da/d\rho)_{T=0}$ , odakle sleduje 20% razlike od literature, realno treba da bude  $(da/d\rho)_{T < 0}$ .

$$R = \frac{\pi^2}{2\lambda^4} kTK_T \frac{6 + 6\rho_u}{6 - 7\rho_u} (n^2 - 1)^2 \frac{(n^2 + 2)^2}{9}$$

i uvođenjem  $1/\alpha \left( \frac{\partial \varepsilon}{\partial T} \right)_{0=0}$ , sa 13% odstupanja

$$R = \frac{\pi^2}{2\lambda^4} kTK_T \frac{6 + 6\rho_u}{6 - 7\rho_u} \frac{1}{n^2} \left( \frac{\partial \varepsilon}{\partial T} \right)^2$$

Sa 33% odstupanja od eksperimenata

$$R = \frac{\pi^2}{2\lambda^4} kTK_T \frac{6 + 6\rho_u}{6 - 7\rho_u} (n^2 - 1)^2.$$

Veze brzine hiperzvuka  $v$  sa širinama linija Rayleigha i Brillouina  $\Gamma_R$  i  $\Gamma_B$  i pojačanja  $g_R/g_B$ ,

$$g_B = C_1 \frac{\alpha_{mol}}{M} \frac{n^2 - 1}{2} \frac{n^2 + 21}{3} \frac{\Delta\omega_B}{2v^2} B_{KD} |E_D|^2 \frac{(1/2)|\Gamma_L + \Gamma_B|}{|\Delta\omega - \Delta\Omega_B + (1/4)|\Gamma_L \Gamma_L + \Gamma_B|^2|},$$

$$g_R = C_2 \frac{\alpha_{mol}}{M} \frac{n^2 + 21}{3} \beta(n_c / C_p) K_s |E_L|^2 \frac{\Delta\omega}{|(\Delta\omega)^2 + (1/4)|\Gamma_L + \Gamma_B|^2|},$$

Za gasove je veza jednostavnija [14,15,20,23-25].

## ZAKLJUČAK

1. Ako se ne radi o optoakustičkoj aparaturi sa definisanim parametrima i kalibraciji uz program za ciljno dešifrovanje, onda je potrebno da se pri zapisima gde se samo ana liziraju signali sa mikrofona, za seriju uzoraka geometrijskih oblika, izvrše ista izlaga nja. Rađeno je za metale, poluprovodnike, i izborom odgovarajućih teorija, dobijene su i prouzrokovane brzine zvuka pri impulsnim izlaganjima.
2. Čisto akustička merenja brzine zvuka daju manje precizne podatke od merenja bazi ranih na rasejanju Brillouinovog tipa.
3. Merenja zasnovana na kompresibilnosti, zavise od aproksimacija sa indeksima prela manja, gustine i parcijalnih izvoda
4. Za stene se formiraju familije pravih, koje vezuju kvadrate indeksa prelamanja i tipa stene.
5. U literatura se pojavljuje izjava o važenju prilaza pojedinih jedinjenja. Sa gledišta Brillouinovog rasejanja, treba imati u vidu da su kvantitativna razmatranja u važnosti, ali da je možda reč o velikoj disperziji materijala (u području giperzvuka) koji učestvuje kod ovog procesa.,



## LITERATURA

1. L. Kričak, A. Barr, M. Dragovic, A. Čučakovic, S. Ostojić, A. Kovačević, N. Borna, Acoustic-Optic Approach for the Examination of Materials Condition in Cultural Heri-tage Objects, NANT, p. 32, Belgrade, 2016.
2. M. Srećković, M. Kutin, M. Puharić, R. Radovanović, N. Marković, Laserske metode merenja i dijagnostike, Institut Goša, Društvo za tehničku dijagnostiku Srbije, Beograd, 2007.
3. M.Srećković, M. Pavlović,Z.Veinović, Z.Ostojić, Lidari, ladari, colidari, diali,Studio 789 TEAM, II izdanje, Beograd 2015,
- 4.M.Srećković,R.Vukotić,S.Ristić,M.Hribšek, Primena lasera na probleme merenja u ob- lasti seizmike, tektonskih poremećaja i akustičko-seizmičkih sprezanja, Naše građevinar stvo, Vol.47, No.4, pp.NG7-NG-14,1993.
5. J.V.Timošin, Impulsnaya seizmičeskaya golografiya, Mir, Moskva, 1978.
- 6.G.Stefanović,Rezonancijai i elastične nelinearne pojave u stenama, Diplomski rad, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 1996.
- 7.A. Ristić,Estimacija optimalnih vrednosti parametara podzemnih cilindričnih objekata i zemljišta korišćenjem Georadara, Doktorska disertacija, Novi Sad, 2009.
- 8.C.Weitkamp,Lidar Range-Resolved Optical Remote Sensing of the Atmosphere, Sprin-ger Science+Business Media Inc., Singapore, 2005.
- 9.M.Srećković, N.Ivanović, O.Žižić, S.Bojanić, Electrical.Optical and Thermodynamical, Constants in the Light of Sound Velocity for HgMnSe, HgSe ,HgTe and Ferrite Spinells Journal of Electronic Materials, Vol.32,br.4, pp.208-214, April 2003.
- 10.M.Srećković, O.Žižić, N.Ivanović, M.Ivković, Z. Janevski,B.Vedlin,R.Bugarinović ,R.Stepić and A.Kunosić, Problems in HgMnSe and MnZn Ferrites Solved by Means of Laser Spectroscopy and Acoustooptical Couplings, Proc. of the 13.International Cong ress of Acoustics, Belgrade, Aug. 24- Sept. 3, pp.365-370, Vol.4, 1989.
- [11] M. Dragović, A.Čučaković ,M.Srećković, Geometric Approach to the Revitalization of Medieval Serbian Monasteries, BALTRAF-13, 13<sup>th</sup> International Conference on En- gineering and Computing Graphics, Vilnius, Lithuania, June 25-26., 2015.
- [12]. A. Čučaković, M. Dragović, M. Pejić, M. Srećković, J. Pandžić, The possibilities of application of 3D digital models in cultural heritage object protection and reconstruction , Proceedings of 5<sup>th</sup> Int. Conf on Geometry and Graphics "Mongeometrija 2016", Belgrade, June 23-26, pp. 434-443; 2016.
- [13]M.Srećković, M.Dragović, A.Čučaković, N.V.Borna, S.R.Polić, S.Bojanić, A.J.Milo- losavljević, Potential and Contemporary Laser Applications with Parallel Techniques and the Processes of Monitoring, Protection and Restoration of Cultural Heritage Objects, Sci entific Association for Development and Affirmation of New Technologies, Nant, Belgra de, p.10, 2015
- [14]M.Srećković, Brillouin Spectra of Liquids Mixtures of Phytol in Carbontetrachloride and Toluene, Optics and Communications, No.2,(1)Vol.51, pp.100-105,1984.
- [15] M. Srećković, S.Ostojić, B. Đokić, V.Zarubica, A. Kovačević, M. Nešić, Scattering ,reflection;transmission in theory and practice,the estimation of nonlinear and ultrafast phenomena, Atti de la fondazione Giorgio Ronchi, Anno LXV,13 , No.4/5,pp.543-555, 2010.
- [16] M. Srećković, S.Ristić, N.Ivanović, M.Hribšek, D. Šagovnović, Some couplings in laser material interaction phenomena and acoustical couplings, Roma,17<sup>th</sup> ICA, sept.2-7, p. 201, Section laser acoustics, 2001.





## Multidisciplinarni pristup kulturnoj baštini, savremenim materijalima i tehnologijama



- [17] M. Srećković, B. Kaluđerović, S. Jevtić, Z. Latinović, S. Ostojić, Đ. Milanović, Optical material performances, measurement by laser implementation and interpretation, pp.293-298, *Zaštita materijala*, god.LV, Vol..55, No.3, pp.37-42, 2014.
- [18] M. Srećković, S. Ostojić, B. Kaluđerović, Z. Fidanovski, Z. Latinović, S. Jevtić, Đ. Milanović, Some considerations related to quantum electronics, acoustics and science of materials, based on experiment and theory, *Zaštita materijala*, Vol.56, br.2, pp.129-139, 2015.
- [19] M. Srećković, O. Žižić, N. Ivanović, M. Ivković, Z. Janevski, B. Vedlin, R. Bugarinović, R. Stepić and A. Kunosić, Problems in HgMnSe and MnZn Ferrites Solved by Means of Laser Spectroscopy and Acoustooptical Couplings, Proc. of the 13. Int. Congress of Acoustics, Belgrade, Aug. 1988.
- [20] M. Srećković, M. Drifford, S. Ostojić, J. P. Dalbiez, Dynamic Scattering of Coherent Light, Estimation of Characteristics of the Centres of Scattering and Their Interactions, *ATTI della fondazione GIORGIO RONCHI*, sett-ottob., LIV, No.5, pp.601-615, 1999,
- [21] M. Srećković, Ž. Tomić, S. Jevtić, S. Ostojić, A. Bugarinović, D. Jevtić, N. Kovačević Ratković, M. Dragović, Analitički i numerički aparati primene lasera u dijagnostičke svrhe u linearnoj i nelinearnoj oblasti, *Infoteh, Jahorina*, J. Vol. 14, pp.782-787, RSS 5-13, 18.3, 2015.
- [22] *Akustičke kristalli*, ed. M. P. Špoljski, Nauka, Moskva, 1982.
- [23] B. J. Berne, R. Pecora, *Dynamic Light Scattering*, J. Wiley Sons, New York, 1976.
- [24] S. Ernest, J. Glinski, B. Jezovska-Trzebiatowska, Dependence of Association of Liquids, *Acta Phys Pol.*, Vol. A55, (4) pp.501-516, 1979.
- [25] W. Andryejewska, The Light Scattering of Certain Types of Rough Surfaces, *Acta Phys. Pol.*, Vol. A55, (4), pp. 1979.
- [26] J. D. Bass, Elasticity of grossular and spessartite garnets by Brillouin spectroscopy, 1989, DOI: 10.1029/JB094iB06p07621
- [27] T. S. Narasimhamurty, *Photoelastic and electro-optic properties of Crystals*, Plenum Press, New York, Mir, Moskva, 1981.
- [28] S. Ristić, M. Srećković, Pressure Disturbances Testing by Schlieren Method for Holographic Interferometry, Proc. Lasers 98, 7-11 dec., pp. 568-547, Tucson, Arisona, SoQue, STS Press, Mc Leanm 1999.