

# FIZIČKA I NEDESTRUKTIVNA ISPITIVANJA KERAMIČKIH MATERIJALA ZA OBLAGANJE SA ASPEKTA TRAJNOSTI

Zoran Stević<sup>1</sup>, Aleksandar Savić<sup>2</sup>, Milica Vlahović<sup>3</sup>, Sanja Martinović<sup>3</sup>, Tatjana Volkov-Husović<sup>4</sup>

**Apstrakt**— U radu su prikazane osnovne metode ispitivanja materijala, koje mogu poslužiti prilikom prve faze procene kvaliteta materijala, nakon degradacije usled vremena ili drugih faktora koji mogu izmeniti fizičko-mehanička svojstva materijala. Nedestruktivna metoda ispitivanja pomoću praćenja brzine prostiranja ultrazvučnog impulsa upotrebljena je radi ilustracije mogućeg pristupa pri proceni kvaliteta različitih tipova keramičkih materijala za oblaganje.

**Gljučne reči**— keramičke pločice, metoda ultrazvučnog impulsa, zapreminska masa, korelacija

## 1. UVOD

Pod pojmom keramika se podrazumeva veliki broj raznovrsnih proizvoda koji se dobijaju pečenjem gline, kao osnovne sirovine [1]. U pogledu kompaktnosti mase, keramički proizvodi se mogu podeliti na: proizvode sa poroznom masom i proizvode sa polustopljenom masom. U slučaju da je upijanje vode kod keramičkog proizvoda veće od 5% u pitanju su proizvodi sa poroznom masom, a u slučaju da je upijanje vode manje od 5% proizvodi se karakterišu kao proizvodi sa polustopljenom masom. Za proizvode sa polustopljenom masom je karakterističnija temperatura pečenja, a koja se kreće u intervalu 1200-1400°C.

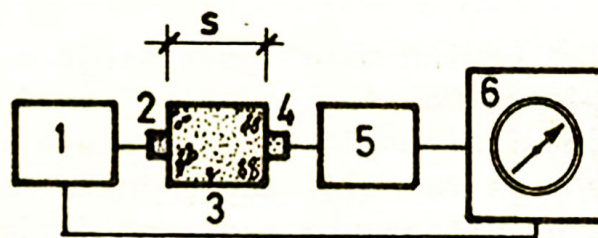
Tehničke karakteristike keramičkih materijala za oblaganje prvenstveno zavise od njihove primene. Zahtevana svojstva i njihove vrednosti mogu varirati u funkciji od toga da li se radi o unutrašnjim ili spoljašnjim oblaganjima, odnosno u zavisnosti od toga da li se oblažu zidovi ili podovi [2]. Ova svojstva uključuju zapreminsku masu, stalnost geometrije, boju, teksturu, otpornost na pojavu vlasavosti, otpornost na delovanje razblaženih kiselina i baza, čvrstoću pri savijanju, tvrdoću i sl. Ispitivanja ovih materijala zahtevaju specifičan pristup i poznavanje šireg spektra standardne i nestandardne metodologije, između ostalog i nedestruktivnih i destruktivnih postupaka ispitivanja [3]. Posebno su od interesa ispitivanja

kada se radi o materijalima koji su u svom eksploatacionom veku izloženi visokim temperaturama [4].

Zapreminska masa, čvrstoće i mehaničke otpornosti nekog materijala, kao i njegova trajnost i promena svojstava sa vremenom mogu se pratiti i povezati sa odgovarajućim nedestruktivnim metodama ispitivanja, u koje spada i metoda ispitivanja brzine ultrazvučnog impulsa kroz materijal. Treba naglasiti, međutim, da se kod ispitivanja svojstava materijala putem metoda bez razaranja traženo svojstvo unajvećem broju slučajeva ne meri direktno, već se postupak svodi na merenje neke druge fizičke veličine koja je u funkcionalnoj vezi sa datim - traženim svojstvom.

Kao što je poznato, pod ultrazvukom se podrazumevaju vibracije iste prirode kao i zvuk, ali vrlo visokih frekvencija - koje ljudsko uho nije u stanju da registruje. Ove vibracije, koje u suštini imaju mehanički karakter, odlikuju frekvencije > od 20000 Hz (20kHz). Za dobijanje ultrazvuka najčešće se primenjuje piezoelektrični metod, koji se zasniva na sposobnosti pojedinih kristalnih tela da pod dejstvom električne struje menjaju svoje dimenzije i na taj način proizvode visokofrekventne impulse. Ovi kristali imaju i sposobnost ispoljavanja suprotnog efekta: da pod uticajem visokofrekventnih impulsa dolazi do njihovog naelektrisanja (piezoeffekat).

U praksi (slika 1), ultrazvučni impulsi se dobijaju primenom specijalnih generatora impulsa (1); za unošenje impulsa u element koji se ispituje služe posebni predajnici (2); primenom ovih predajnika provode se UZ impulsi kroz ispitivani materijal (3) do prijemnika (4), pri čemu dolazi do prenosa podužnih, poprečnih ili površinskih ultrazvučnih talasa; primljeni impulsi pojačavaju se putem pojačavača (5) i šalju na indikator vremena (6).



Slika 1: Osnovni princip funkcionisanja ultrazvučne aparature

Promena svojstava materijala usled uticaja spoljašnje sredine najčešće je degradacionog tipa, što znači da se svojstva najčešće pogoršavaju sa vremenom. Osim što je moguće pratiti i porediti svojstva jedne vrste materijala i njihovu promenu primenom nedestruktivnih metoda ispitivanja, moguće je pratiti i promenu tj. pad svojstava materijala sa vremenom, ili utvrditi odstupanja izmerenih vrednosti u datom trenutku u odnosu na pojedinačne poznate i očekivane vrednosti za taj materijal u datom trenutku, primenom matematičkih, u prvom redu statističkih metoda [5]. Pravovremeno ispitivanje i praćenje svojstava već ugrađenih

<sup>1</sup>Zoran Stević – Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11120 Beograd; Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, Vojske Jugoslavije 12, 19210 Bor (<https://orcid.org/0000-0002-1867-9360>);

<sup>2</sup>Aleksandar Savić – Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11120 Beograd; (<https://orcid.org/0000-0002-1777-6775>);

<sup>3</sup>Milica Vlahović – Univerzitet u Beogradu, Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju, Karnedžijeva 4, Centar za materijale i metalurgiju, Karnegijeva 4/I, 11120 Beograd, (<https://orcid.org/0000-0002-7893-9101>).

<sup>4</sup>Sanja Martinović – Univerzitet u Beogradu, Institut za hemiju, tehnologiju i metalurgiju, Karnegijeva 4/I, Centar za materijale i metalurgiju, Karnegijeva 4/I, 11120 Beograd, (<https://orcid.org/0000-0001-8040-407X>);

<sup>5</sup>Tatjana Volkov-Husović – Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Karnegijeva 4/I, 11120 Beograd, (<https://orcid.org/0000-0002-2667-5802>).

keramičkih materijala je posebno važno ukoliko se radi o objektima od velike važnosti za zajednicu [6]. Nakon eksploatacije u konstrukciji, keramički materijali se mogu ponovo upotrebljavati, što je veoma važno sa aspekta ekološkog i održivog pristupa u građevinarstvu [7]. U tom slučaju njihovo praćenje i karakterizacija u eksploataciji postaju prvi korak za prvu upotrebu ovih materijala u drugom, recikliranom, obliku.

U radu je prikazana metoda merenja brzine propagacije ultrazvučnih impulsa kroz pet različitih keramičkih materijala za oblaganje, u okviru modela materijala koji je upotrebljavan ranije. Prikazani rezultati predstavljaju početnu fazu obimnijeg istraživanja.

## 2. MATERIJALI I METODE ISPITIVANJA

Ispitivani materijal predstavljaju keramičke ploče za oblaganje, starosti preko 20 godina, izrađene sa različitim pigmentima (slika 2). Pomenute ploče nisu izlagane eksploatacionim uslovima. Pre ispitivanja je svaki od uzoraka pregledan u cilju utvrđivanja vizuelnih tragova destrukcije ili drugih nedostataka. Konstatovano je da su uzorci kompaktni, pravilnih ivica i očuvani.



Slika 2: Ispitivani uzorci keramičkih materijala za oblaganje

Za ispitivanje zapremne mase korišćeni su digitalno pomično merilo marke MESSZEUGE nemačke proizvodnje, opsega 150 mm kao i vaga KERN kapaciteta 35 kg i podatka 0,1 g. Rezultati ispitivanja dimenzija i mase prikazani su u tabeli 1. Prikazani rezultati merenja dimenzija predstavljaju prosečne vrednosti dobijene na osnovu najmanje tri merenja. Za ispitivanje brzine ultrazvučnog impulsa upotrebljena je ultrazvučna aparatura italijanske proizvodnje, proizvođača MATEST. Pre samog ispitivanja je na ispitivane uzorke naneta odgovarajuća količina kontaktnog agensa, kako bi se eliminisao sloj vazduha na kontaktu uzoraka sa sondama ultrazvučne aparature, nakon čega je izvršeno merenje. Prosečne vrednosti merenja dobijene na osnovu četiri merenja (po dva na dva upravna pravca) prikazane su u tabeli 1.

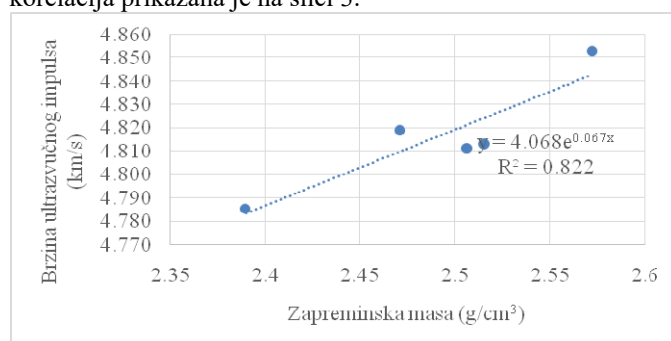
Tabela 1. Vrednosti dimenzija, mase, zapremne mase i brzine ultrazvučnog impulsa kod ispitivanih keramičkih materijala

Uzorak br.	1	2	3	4	5
Masa (g)	240,7	250,2	247,7	242,2	253,7
Dimenzije a×b×h (mm)	80,86×	81,53×	81,31×	81,83×	81,44×
	81,21×	81,10×	81,35×	82,13×	80,90×
Zapremna masa (g/cm <sup>3</sup> )	2,516	2,572	2,507	2,390	2,472
Brzina ultrazvučnog impulsa (km/s)	4,813	4,853	4,811	4,785	4,819

## 3. ANALIZA I DISKUSIJA REZULTATA ISPITIVANJA

Na osnovu ispitivanja koja su sprovedena na ispitivanim uzorcima utvrđeno je da zapremne mase uzoraka variraju u relativno malim granicama od 2,390 g/cm<sup>3</sup> do 2,572 g/cm<sup>3</sup> sa prosečnom vrednošću od 2,491 g/cm<sup>3</sup>. Takođe, utvrđeno je da brzine ultrazvučnog impulsa dobijene na ispitivanim uzorcima variraju u relativno malim granicama od 4,785 km/s do 4,853 km/s sa prosečnom vrednošću od 4,816 km/s.

U cilju procene korelacije i trenda promene svojstava, izvršena je regresiona analiza korelacije zapremne mase i brzine ultrazvučnog impulsa kroz ispitivane uzorke. Pomenuta korelacija prikazana je na slici 3.



Slika 3. Korelacija između zapremne mase i brzine ultrazvučnog impulsa kod ispitivanih keramičkih materijala za oblaganje. Iz priložene slike se može zapaziti da korelacija relativno pouzdanog tipa može omogućiti praćenje trenda promene svojstava. U ovom slučaju, za ispitivano svojstvo može se usvojiti zapremna masa, te se na osnovu konkretne metode nedestruktivnog ispitivanja može dati načelna procena gubitka (pada) zapremne mase usled degradacije materijala kroz vreme i dobiti prva procena ispitivanih uzoraka u funkciji od vremena.

## ZAKLJUČCI

U radu su prikazani rezultati početne faze šireg istraživanja, koji se bave nedestruktivnim ispitivanjima keramičkih materijala veće starosti, sa aspekta praćenja svojstava u eksploataciji, sa vremenom ili usled dejstva agresivne sredine u kojoj se ti materijali mogu naći.

Napominje se da bi svakako pri ispitivanjima trebalo proceniti i očekivane vrednosti merne nesigurnosti, kako bi se sagledao karakter i stepen pouzdanosti samog merenja. Veliki stepen merne nesigurnosti u različitim slučajevima merenja može dovesti do značajnog pada pouzdanosti rezultata ispitivanja. Iz tog razloga je u svakom ispitivanju potrebno identifikovati i uzeti u obzir sve faktore merne nesigurnosti.

Konačno, treba napomenuti da nedestruktivna ispitivanja građevinskih materijala ne mogu dati jednoznačne odgovore na pitanja njihovog kvaliteta, odnosno da se ne mogu uzeti kao merodavna kod izvođenja zaključaka o trajnosti ili

stepenu degradacije koji je nastupio kod bilo kog tipa građevinskih materijala.

Međutim, iako je konstatovano da ispitivani uzorci imaju relativno ujednačen kvalitet i da se može dati generalna ocena da njihova svojstva nisu značajno degradirala sa vremenom, ukazuje se na mogućnost praćenja i približne inicijalne procene svojstava sličnim metodama u laboratorijskim ili *in situ* uslovima. Na ovaj način se u većem skupu ispitivanih uzoraka može utvrditi oblast od interesovanja ili odgovarajući podskup uzoraka za detaljniju i opsežniju analizu sa aspekta trajnosti, uključujući neke od destruktivnih metoda ispitivanja.

#### LITERATURA

- [1] M. Muravljev: Građevinski materijali, Građevinska Knjiga, Beograd, 2000.
- [2] M. Muravljev, D. Jevtić, Građevinski materijali 2, Akademska misao, Beograd, 2014
- [3] Vlahović M., Martinović S., Stević Z., Savić A., Volkov-Husović T., Examining erosion resistance of ceramics for electrical engineering applications, Union of Mechanical and Electrotechnical Engineers and Technicians of Serbia (SMEITS) Society for Renewable Electrical Power Sources Kneza Miloša str. 7a/II, 11000 Beograd, 2019 pp. 25-30
- [4] Simić M., Alil A., Martinović S., Vlahović M., Savić A., Volkov-Husović T., High temperature materials: properties, demands and applications, Hem. Ind. 74 (4) 273-284 (2020), UDK: 666.3: 697.1:621.315.61, <https://doi.org/10.2298/HEMIND200421019S>
- [5] J. Mališić, V. Jevremović, Statističke metode u meteorologiji i inženjerstvu, Univerzitet u Beogradu, Univerzitet u Novom Sadu, Beograd, 2014
- [6] Zakić D., Savić A., Aškrabić M., Lukičić M., Jevtić D.: Ispitivanje svojstava materijala i sistema za unutrašnje oblaganje kupole Spomen hrama svetog Save, Zbornik radova sa Međunarodnog simpozijuma o istraživanjima i primeni savremenih dostignuća u građevinarstvu u oblasti materijala i konstrukcija, 2017, 307-316, ISBN 978-86-87615-08-3
- [7] Jevtić D., Markićević J., Savić A.: Spravljanje i primena keramičkog betona – ekološka potreba savremenog društva, GNP 2008., Drugi internacionalni naučno-stručni skup Građevinarstvo – nauka i praksa, Zbornik radova, knjiga 2, str 841-846, Žabljak, mart 2008., ISBN 978-86-82707-15-8;