

Enver MANDŽIĆ¹
Salko KULUKČIJA²
Kenan MANDŽIĆ³
Mustafa HUMO'

OCJENA STANJA POSTOJEĆIH OBJEKATA KULTURNOG I ISTORIJSKOG NASLIJEĐA PRIMJENOM REFRAKCIONE SEIZMIKE

Rezime

Stanje zidanih objekata kulturnog i istorijskog naslijeđa najčešće je vidljivo dostupno samo sa jedne otvorene strane. Način gradnje i vrsta materijala po dubini debelih zidova kamenom zidanih objekata potpuno je nepoznata. Nepoznati su i uslovi ispunjenosti malterom prostora među pojedinačnim elementima ili slojevima kamenom zidanih konstrukcija. Za ocjenu postojećeg stanja i projektovanje uslova sanacije i rekonstrukcije neophodno je izvesti istraživanja nerazornim metodama. Refrakciona seizmika ili mikroseizmika nudi mogućnosti otkrivanja stanja kamenom zidanih konstrukcija po dubini zidova, na različitim mjestima koja su od interesa. U radu su pokazani rezultati istraživanja provedeni metodama plitke refrakcione seizmike na objektu Sulejmanpašića kule kod Bugojna. Dat je i prijedlog određivanja koeficijenta kompaktnosti zida.

Summary

The determination of the conditions of masonry constructions of cultural and historical heritage is most commonly possible only from one open side. The method of construction and the type of the material inside thick walls is completely unknown. The conditions of mortar filling of space between individual elements or layers of masonry rock constructions are also unknown. For the assessment of present state and recovery and reconstruction conditions planning, it is necessary to conduct research with nondestructable methods. Refractional seismic or microseismic method offers the possibilities for determination of conditions on different depth inside masonry rock walls, in different places of interest. In this work the results of research conducted by the shallow refraction seismic on Sulejmanpašića tower near Bugojno are presented. The suggestion of coefficient of wall compact is also given in this work.

¹Akademik Enver MANDŽIĆ, prof., dr sc. Akademija nauka i umjetnosti BiH

²Mr sc. Salko KULUKČIJA, dipl.inž., INTERPROJEKT doo Mostar

³Dr sc. Kenan MANDŽIĆ, dipl.inž.geologije, Univerzitet u Tuzli

'Mustafa HUMO, dipl.inž.grad., INTERPROJEKT doo Mostar

1.UVOD

Istraživanja na objektima kulturnog i historijskog naslijeđa potrebno je provoditi na način da se dobije dovoljno potrebnih podataka za izradu projekta restauracije i rekonstrukcije a da se pri tim istraživanjima ne oštećuju bilo koji dijelovi objekta. Jedna od metoda koja pruža mogućnost dobivanja kvalitativnih i kvantitativnih podataka o zidovima i uslovima kompaktnosti zida zidanog kamenom ili nekim drugim materijalom je i primjena refrakcione seizmike na vanjskim otvorenim i najčešće jedinim prisutnim dijelovima zida u njegovoj kompletnoj postojećoj strukturi. Refrakciona seizmika omogućava dobivanje prostiranja seizmičkih talasa koji se izazivaju udarcem čekića u zid na strani gdje se izvodi mjerenje. Stabiliziranjem prijemnika – geofona (za prijem longitudinalnih ili transverzalnih talasa) na površini zida omogućava registriranje vremena nailaska talasa sa različitim rastojanja gdje se duž zida udara čekićem. Iz poznatog vremena nailaska prvog talasa na prijemnik – geofon i rastojanja od tačke udara do prijemnika – geofona i rastojanja od tačke udara do prijemnika – geofona, moguće je izračunati brzinu talasa. Povećanjem rastojanja tačke udara od prijemnog uređaja – geofona, moguće je ispitati stanje materijala ugrađenog u zid po cijeloj dubini do druge strane zida. Pomijeranjem prijemnika – geofona duž profila ispitivanja i ponavljanjem procedure moguće je pratiti promjene stanja zida duž profila na kome se ispitivanja provode. Takav metod je i primijenjen na istraživanju stanja kamenih zidova Sulejmanpašića kule u mjestu Odžak kod Bugojna.

Primjena seizmičke metode moguća je i za uslove postavljanja prijemnika – geofona sa unutrašnje strane zide a mjesto udara da bude sa vanjske strane zida. Moguće je ponavljati operacije sa geofonom u sredini ili na krajevima profila, kao i druge kombinacije ispitivanja.

12. METODOLOGIJA MJERENJA

Metodologija mjerenja podrazumijeva detaljno prilagođavanje uslovima na terenu jer su objekti kulturnog i historijskog naslijeđa često na nepristupačnim ili teško pristupačnim terenima. Kod svakog objekta potrebno je detaljno razmotriti i usvojiti: izbor mogućih i potrebnih profila za ispitivanje, način mjerenja duž profila, rastojanje među tačkama udara, način profiliranja, uslove registracije talasa (frekventno područje).

2.1. Izbor profila

Profili duž kojih se izvodi ispitivanje mogu biti horizontalni (najčešće) ili vertikalni (rijetko). Najčešće je za ispitivanje potrebno postaviti montažnu skelu. Za ispitivanje na Sulejmanpašića kuli korištena je skela a profili su bili horizontalni (vidjeti slike). Obzirom da je kula ravnih zidova sa četiri strane, tako su i profili postavljeni da omoguće utvrđivanje sastava i svojstava kamenog zida u zoni konstrukcije koja se oslanja na teren i slobodnih zidova djelimično zatrpanih urušenim materijalom sa unutrašnje strane kule.

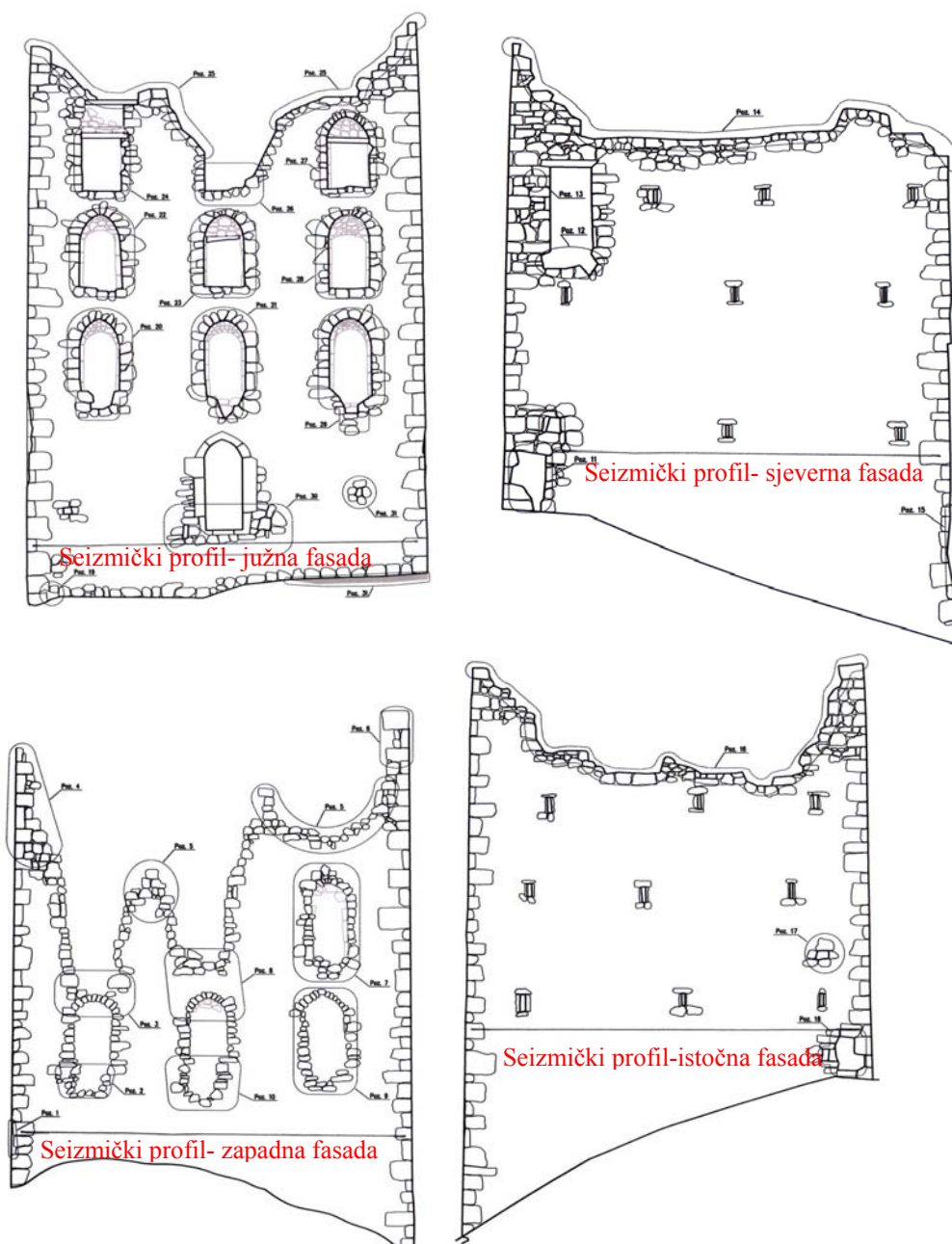


Slika 1. Sulejmanpašića kula

2.2. Način mjerenja duž profila

Za istraživanje stanja zidova kule primjenjen je jedinstven način mjerenja. Prijemnik – gefon je stabiliziran na krajnjem dijelu kamenog zida. Tačka udara čekićem označi se na svakih 0,5 m rastojanja od prijemnika – geofona, sa udaljavanjem do kraja zida. Profiliranje se nastavlja tako što se prijemnik – gefon pomjeri na 1/3 dužine zida i postupak udara čekićem nastavlja po istoj proceduri kao prethodni. Zatim se prijemnik – gefon pomjera na 2/3 dužine zida i procedura udara čekićem ponavlja kao i u prethodnim slučajevima. Proces pomijeranja geofona za 0,5 m i ponavljanje procedure udara čekićem nije primijenjen jer je spor i zahtijeva mnogo sati rada pa u ovom slučaju nije primijenjen, što ne znači da ne treba biti primijenjen gdje god to uslovi i okolnosti dozvoljavaju.

Kompletna opisana procedura izvedena je na sva četiri zida objekta a dobiveni rezultati zadovoljavaju postavljene uslove o neophodnom nivou informacija koje se očekuju od ove vrste isptivanja.



Slika 2. Lokacije seizmičkih ispitivanja

2.3. Uslovi registracije talasa

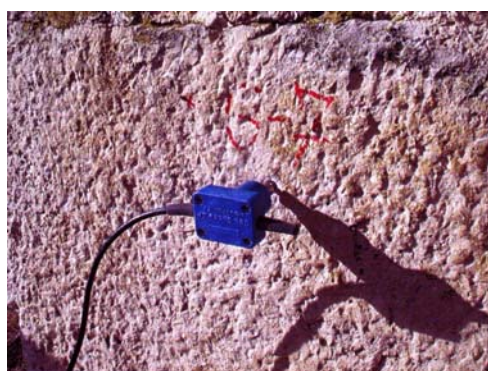
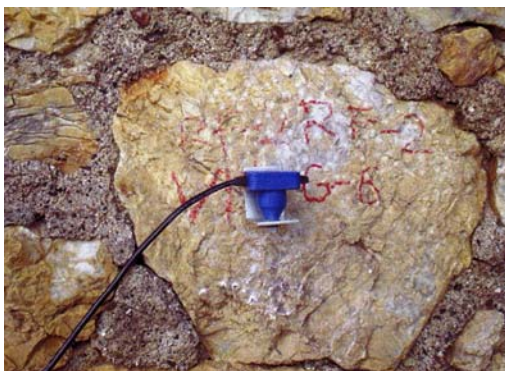
Za istraživanje korišten je instrument SEISTRONIC RS 100 kanadske proizvodnje, koji predstavlja najsavremeniji instrument koji se danas koristi i za ovu namjenu. Prije početka svakog mjerenja namješta se odgovarajuće frekventno područje koje omogućava eliminaciju smetnji koje nastaju iz drugih izvora. Instrument registrira vrijeme nailaska prvog talasa i omogućava sagledavanje kompletnog zapisa talasa za dalju analizu. Mjerenje vremena nailaska prvog talasa za longitudinalne i za transversalne talase omogućava crtanje dijagrama vrijeme – rastojanje iz koga se izračunavaju brzine u sredinama kroz koje prolazi talas. Što je brzina manja to znači da u zidu postoje šupljine i obrnuto. Ako postoji prekid, na primjer zidani vanjski dio zida i kameni ili drugi nabačaj između vanjskog i unutrašnjeg zidanog dijela zida, brzina će se mijenjati pa možemo registrirati dvoslojnu ili troslojnu strukturu zida.

2.4. Dijagrami brzina

Dijagrami vrijeme – rastojanje omogućavaju izračunavanje brzine talasa koji se prostire kroz ispitanu sredinu.

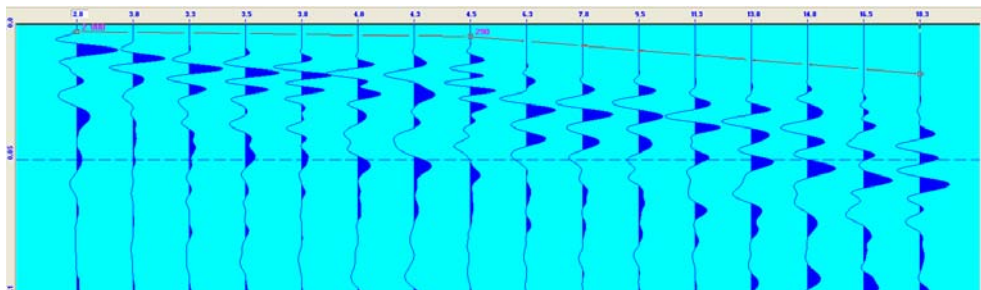
Za svaki od profila na kome je izvedeno mjerenje nacrtan je dijagram koji je pokazao da je zid kompaktna jednoslojna sredina. Dijagrami jasno pokazuju da je to jednoslojna kamena konstrukcija sa jasno definisanim graničnim površinama sa vanjske i unutrašnje strane. Brzine longitudinalnih talasa su ujednačene, kao brzine transversalnih talasa koje su niže po vrijednosti u odnosu na longitudinalne:

Longitudinalni talasi $V_l = 1900 - 2700 \text{ m/s}$

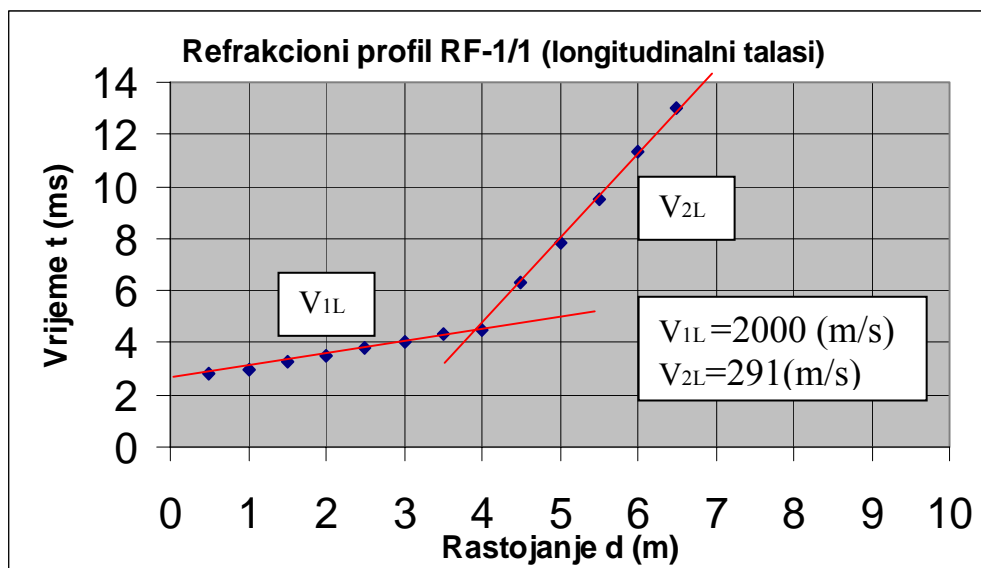


Slika 3. Fotografije lokacija

SULEJMAN PAŠIĆA KULA KOD BUGOJNA
SJEVERNI ZID
REFRAKSIONI PROFIL RF-1
Tok operacija zapad-istok
Longitudinalni talasi VL



Slika 4. Karakterističan dijagram brzine



Slika 5. Karakterističan zapis za jedno mjerenje

3. Koeficijent kompaktnosti zida

Za dalja istraživanja na objektima kulturnog i istorijskog naslijeđa predlažmo ustanovljavanje koeficijenta kompaktnosti zida (KKZ). Ovaj koeficijent bi omogućio sagledavanje jedinstvenog načina klasifikacije zidova po kompaktnosti bez obzira da li se radi o jednoslojnim, dvoslojnim ili troslojnim kamenim zidovima ili zidovima od drugog materijala. Koeficijent kompaktnosti zida (KKZ) izražava stepen ispunjenosti zapremine zida stijenskim materijalom i/ili malterom između vanjske i unutrašnje granične površine zida. KKZ se izražava u procentima. Lingvistički se klasificira u pet klasa: od vrlo malog do veoma velikog. Dobije se istraživanjima provedenim refrakcionom seizmikom na osnovu brzina longitudinalnih talasa utvrđenih na zidu i uzorku stijenskog materijala od koga je izgrađen zid:

$$KKZ = (V_{lz} / V_{lu}) 100 (\%)$$

gdje je: V_{lu} – brzina longitudinalnih talasa mjerena u monolitu karakteristične stijene koja gradi zid. Etalon uzorak se uzima sa dimenzijama 5 x 5 x 5 cm, bez vidljivo prisutnih pukotina u stijenskom materijalu.

V_{lz} – brzina longitudinalnih talasa mjerena u zidu konstrukcije.

Na osnovu dobivenih podataka o brzinama longitudinalnih talasa može se izračunati KKZ i izvršiti ocjena kvaliteta zida na svi mjestima koja su od interesa za koja su mjerenja izvedena. Klasifikacija zidova zidanih konstrukcija može se izvesti po predloženoj kategorizaciji.

Kategorizacija zidova zidanih konstrukcija

1. kategorija KKZ = 0 – 20%

Veoma mali koeficijent kompaktnosti zida

Jednostrano ili dvostrano zidani dvoslojni ili troslojni kameni zid male debljine zidanog materijala. Debljina sloja zidanog vanjskog dijela je oko 1/5 debljine zida. Prazan prostor između završnih površina zida ispunjen kamenim nabačajem bez slaganja, bez ili sa malo maltera ili ispunjen zemljanim materijalom.

Kod rekonstrukcije potrebno je injektiranje sa većom potrošnjom injekcione mase, razmak između injekcionih bušotina je veći, materijal za injektiranje vezivo sa punilom od sitnog do prašinstog pijeska ili vezivo sa kamenim brašom.

2. kategorija KKZ = 20 – 40 %

Mali koeficijent kompaktnosti zida

Zid je jednostrano ili dvostrano zidani dvoslojni ili troslojni kameni zid veće debljine zidanog materijala na vanjskim površinama. Debljina sloja zida vanjskog dijela je ¼ debljine zida. Prazan prostor između vanjskih slojeva zida ispunjen je kamenim nabačajem, bez slaganja sa malo ili bez maltera, bez slaganja.

Kod rekonstrukcije poželjno injektiranje vezivim materijalom sa malo punila (kamenog brašna). Razmak između injekcionih bušotina manji.

3. kategorija KKZ = 40 – 60 %

Srednji koeficijent kompaktnosti zida

Zid je jednostrano ili dvostrano zidani dvoslojni ili troslojni kameni zid sa većom debljinom zidanih slojeva na vanjskim površinama. Debljina zida vanjskih slojeva je po 1/3 ukupne debljine zida. Prazan prostor između završnih površina ispunjen kamenim nabačajem bez slaganja, bez ili sa malterom.

Kod rekonstrukcije može se koristiti injektiranje sa vezivim materijalom veće ili manje migrabilnosti. Razmak između injekcionih bušotina manji. Injekcioni materijal bez bilo kakvog punila.

4. kategorija KKZ = 60 – 80 %

Veliki koeficijent kompaktnosti zida.

Zid je jednoslojno ili dvoslojno ili troslojno zidan kameni zid sa vezivom među slojem od zidanog materijal sa vezivom kod troslojnog zida. Kod jednoslojnih zidova unutrašnjost je od ne obrađenog kamena sa malterom ali sa šuplinama u kojima nema maltera. Kod dvoslojnih zidova samo su vanjske površine zidane obrađenim kamenom a unutrašnjost od ne obrađenog kamena sa malterom i sa šuplinama između pojedinačnih komada kamena. Kod troslojnih zidova vanjski slojevi su zidani obrađenim kamenom dok je unutrašnjost zidana neobrađenim kamenom sa malterom ali sa šuplinama između. U troslojnim zidovima nema kamenog nabačaja.

Kod rekonstrukcije injektiranje se primjenjuje sa malim razmakom bušotina. Injekciona masa mora biti veoma migrabilnom sa visokim stupnjem pentrabilnosti zbog teškog prodiranja u šupljine koje međusobno ne komuniciraju.

5. kategorija KKZ = 80 – 100%

Veoma veliki koeficijent kompaktnosti zida.

Zid je jednostrano ili dvostrano zidan obrađenim kamenim blokovima kao jednoslojna ili dvoslojna konstrukcija sa malterom koji potpuno popunjava prazne prostore između pojedinačnih blokova.

Kod rekonstrukcije injektiranje nepotrebno.

Istraživanja provedena na terenu mjerenjem brzina longitudinalnih talasa na zidovima Sulejmanpašića kule u Odžaku kod Bugojna i na uzorcima karakterističnog stijenskog materijala, od koga je zidana kula, svrstavaju 90 cm debele zidove kule u kategoriju sa veoma velikim koeficijentom kompaktnosti, $KKZ = 83 - 88 \%$.

12. Zaključak

Primjena nerazornih metoda istraživanja zidanih konstrukcija u svijetu sve više dobiva na značaju. Međunarodna udruženja koja posvećuju punu pažnju rekonstrukciji i restauraciji objekata kulturnog i historijskog naslijeđa daju smjernice i preporuke za upotrebu ovih metoda. Obzirom da se u BiH pristupa sve više istraživanju stanja i uslova mogućeg saniranja ovih objekata neophodna su prethodna istraživanja koja će dati uslove kako provesti sanaciju, rekonstrukciju i restauraciju takvih objekata a da se ne doprinese daljem razaranju tih objekata. Primjena refrakcione seizmike za istraživanje stanja zidova objekata kulturnog i historijskog naslijeđa je u BiH vrlo rijetko korištena, pa će početni, veoma ohrabrujući, rezultati pokazali svu opravdanost korištenja ove metode. Predložena klasifikacija i kategorizacija kamenih zidova po veličini koeficijenta kompaktnosti zida (KKZ) može značajno pomoći kod izbora metoda sanacije, rekonstrukcije i restauracije. Istraživanja provedena za zidove Sulejmanpašića kule u Odžaku kod Bugojna pokazala su i dokazala mogućnosti primjene metode seizmičkog profiliranja na utvrđivanje stanja kamenih zidova. Na istoj kuli provedena su i geoelektrična istraživanja koja su potvrdila dobivene rezultate.

Literatura

1. European Commission, 2006, Onsiteformasonry project, On-site investigation techniques for the structural evaluation of historic masonry buildings, EUR 21696 EN
2. Grupa autora, 2009, Istraživanja stanja zidova Sulejmanpašića kule kod Bugojna refrakcionom seizmikom, Interprojekt Mostar, ne publikovano