

Mira MATOŠEVIĆ ČOLIĆ  
Krešimir ŠARAVANJA  
Davor POPIĆ

## **MORTOVI ZA ZIDANJE PRI OBNOVI STAROG MOSTA MORTAR FOR ARCH MASONRY OF THE OLD BRIDGE**

### **SAŽETAK**

Obnova Starog mosta u Mostaru predstavlja jedan od najvećih konzervatorskih radova u zadnjih pola stoljeća.

U radu su prikazana prethodna i kontrolna ispitivanja morta za zidanje luka i morta za zidanje zidova ispune, kao i njihovih komponenti.

S obzirom da se radila replika Starog mosta zahtjev Investitora je bio koristiti tradicionalni komponentni materijali, a poseban naglasak je stavljen na izgled morta, odnosno boju koja je morala biti što sličnija boji «originalnih» mortova.

### **SUMMARY**

The reconstruction of the Old bridge in Mostar was one of the biggest conservation jobs in last half of century.

In this paper, preliminary and control testings of the mortar for the arch masonry and mortar for the wall filling, as well as their componets are presented.

Considering that we were dealing with the construction of a replica of the Old Bridge, it was required by the Investor to use traditional component materials, and a special accent was given to the mortar's appearance, i.e. its colour, which had to resemble as much as possible the colour of the "original" mortars.

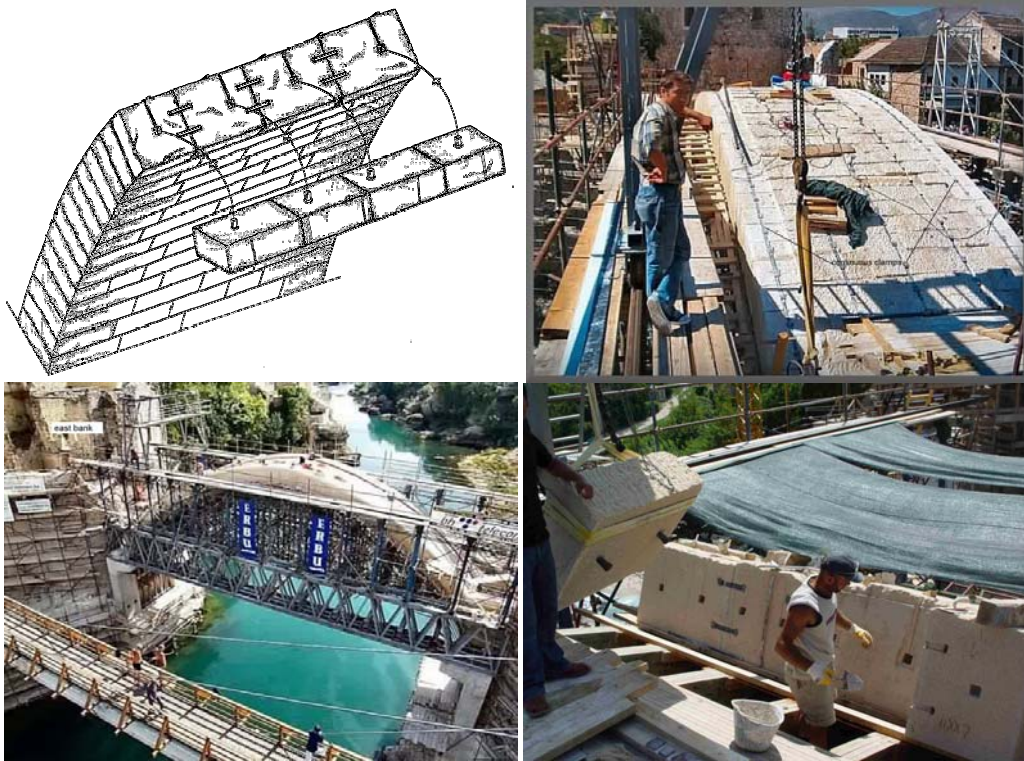
---

Mira MATOŠEVIĆ ČOLIĆ, dipl. ing. građ., "IGH" d.d. Zagreb, Rakušina 1, 10.000 Zagreb, RH  
Mr. sc. Krešimir ŠARAVANJA, dipl. ing. građ., "IGH-Mostar" d.o.o. Mostar, Dubrovačka bb&  
Građevinski fakultet Svečilišta u Mostaru, Kralja Zvonimira 14, 88.000 Mostar, BiH  
Davor POPIĆ, dipl. ing. građ., "IGH-Mostar" d.o.o. Mostar, Dubrovačka bb& Građevinski fakultet  
Svečilišta u Mostaru, Kralja Zvonimira 14, 88.000 Mostar, BiH

# MORTOVI ZA ZIDANJE PRI OBNOVI STAROG MOSTA

## UVOD

PCU (Project Coordination Unit), koji je djelovao u okviru Gradske uprave Mostara je radove na obnovi Starog mosta u Mostaru povjerio turskoj tvrtki «ER-BU Construction and Trade», a interna kontrola kvalitete povjerena je «IGH-Mostar» d.o.o. Mostar u suradnji s matičnom kućom «IGH» d.d. Zagreb. Prethodna, kontrolna i naknadna ispitivanja mortova i njihovih komponenti izvršena su prema usvojenom Programu prethodnih ispitivanja i Planu kontrole (kvalitete) pri obnovi Starog mosta u Mostaru.



Slike 1.-4. Spajanje luka Starog mosta, s detaljom (desno)

Zbog zakašnjelog uključivanja u Projekt prethodna ispitivanja su žurno započela, te nastavljena «u hodu» sukladno prijedlozima «IGH-Mostar» i sugestijama ekspertnog tima s tehničkih sastanaka. Ispitivanja su vršena u Gradilišnom i Centralnom laboratoriju «IGH-Mostar», a dijelom i u laboratorijima «IGH» u Zagrebu, te na Fakultetu kemijskog inženjerstva i tehnologije u Zagrebu.

U tijeku obnove Starog mosta u Mostaru korišteno je nekoliko vrsta mortova, od kojih su prva dva obrađena u ovom radu:

- mort za zidanje luka;
- mort za zidanje zidova ispune;
- mort ispod kaldrme - *Dark Red (crveni) mort*;
- mort u spojnicama kaldrme - *Pink mort*.

## 1. PRETHODNA ISPITIVANJA MORTOVA I KOMPONENTI

Princip po kome su rađena prethodna ispitivanja je bio sljedeći:

- odabir komponenti za mortove (dio komponenti je bio ranije odabran);
- ispitivanje osnovnih svojstava komponenti;
- spravljanje probnih mješavina mortova variranjem komponente i njihovih međusobnih odnosa;
- ispitivanje osnovnih svojstava svih probnih mortova u svježem i očvrslom stanju;
- selekcija na temelju ključnih svojstava mortova (tlačna čvrstoća, izgled,...);
- ispitivanje posebnih svojstava odabranih mortova;
- konačan odabir mortova;
- demonstriranje usvojenih mortova na modelima;
- potvrda usvojenih mortova na mostu.

### 1.1. PRETHODNA ISPITIVANJA KOMPONENTI

Za spravljanje mortova za zidanje luka i zidova ispune korišteni su sljedeći komponentni materijali:

- tradicionalno dobiveno **vapneno tijesto** iz Sukošana kod Zadra, kao vezivo; Na početku prethodnih ispitivanja u Zagrebu ponovnom kemijskom analizom utvrđeno je da ispitani uzorak zadovoljava za izradu tradicionalnog vapnenog morta u pogledu kemijskog sastava;
- **lomljena opeka** («Jedinstvo» Crvenka), kao pucolanski dodatak i pigment za boju; Opeka «Jedinstvo» je imala odgovarajuću svijetlu boju kao kamen luka (estetski uvjet), ali i manju pucolansku aktivnost od lomljene opeke «Radnik» Križevci, koja je dala odgovarajuće rezultate za ispitana svojstva osim u pogledu boje (morta luka). Korištena je lomljena opeke 0-2 mm. Predviđeni sadržaj potencijalno pucolanski aktivnih čestica sitnijih od 0,125 mm je bio minimalno 20 % (maseno);
- različite vrste **riječnog agregata** («Izgradnja» Konjic i «Čapljina»), kao ispuna; Prethodna ispitivanja mortova za zidanje luka i zidova ispune u Zagrebu i dobar dio zahtjevanih dopunskih prethodnih ispitivanja u Mostaru izvršeni su s ranije odabranim pijeskom «Izgradnja» Konjic, koji je pokazao da je pijesak zadovoljavajućeg granulometrijskog sastava za izradu morta za zidanje. Kemijskom analizom utvrđeno je da je agregat iz Konjica mješavina dolomita i vapnenca. Zbog uočene stagnacije prirasta tlačne čvrstoće proba tijekom prethodnih ispitivanja, izuzev probne mješavine s najmanjim udjelom pijeska (10 %), pristupilo se dodatnim ispitivanjima. Izvršena su ispitivanja vapnenog morta metodom rendgenske difrakcije, ispitivanje diferencijalne scanning kalorimetrije i termogravimetrijske analize vapnenog tijesta, kao i ispitivanje krupnih i sitnih separiranih čestica pijeska rendgenskom difrakcijom. Zbog ustanovljenog prisustva određenih količina minerala gline (kaolinit i ilit), koje su stvarale opnu oko zrna agregata, odlučeno je izvršiti zamjenu agregata s agregatom iz Čapljine. Prvobitna ideja za korištenjem pijeska  $D_{\max} 2$  mm (za ispitivanja vršena u Zagrebu) je napuštena i prešlo se na korištenje pijeska  $D_{\max} 4$  mm, dok je za zidanje zidova ispune korišten  $D_{\max} 16$  mm.

### 1.2. PRETHODNA ISPITIVANJA MORTOVA

U prvoj fazi prethodnih ispitivanja s ranije izabranim i dostavljenim komponentnim materijalima (vapneno tijesto iz Sukošana, Zadar; prirodni pijesak «Izgradnja» Konjic) i komponentnim materijalima predloženim od strane "IGH" (hidratizirano dolomitno vapno «Kamen Sirač», Sirač; lomljena opeka «Radnik» Križevci i amorfn  $\text{SiO}_2$  «KEMA Puconci», Puconci) u Zagrebu su izvršena ispitivanja 15 mješavina morta za zidanje luka i zidova ispune u kojima su varirane vrste i udio pojedinih komponentni u mješavini. Dobiveni su mortovi s odgovarajućim rezultatima ispitanih svojstava osim u pogledu boje, pošto je korištena lomljena opeka iz Križevaca intenzivno crvene boje, pa je tako i dobiveni mort imao crvenkastu nijansu.

U drugoj fazi prethodnih ispitivanja je na osnovu spomenute mješavine izrađena grupa mortova, s tim da je umjesto lomljene opeke iz Križevaca korištena žuta opeka «Jedinstvo», Crvenka da bi se postigla željena boja. Varirani su omjeri veziva i ispune kao i udio lomljene opeke u ispuni, tj. odnos pijesak: lomljena opeka. Iako je lomljena opeka u prvoj fazi korištena prvenstveno kao dodatak za pucolansko aktiviranje vapna - pucolanski aktivnim česticama su tretirane čestice manje od 0,125 mm, a veće kao ispuna - udio žute lomljene opeke u mješavini variran je i radi postizanja odgovarajuće boje morta. Volumni omjeri miješanja veziva : ispuna (pijesak + lomljena opeka) su bili 1:1, 1:1,5, 1:2 i 1:2,5, a udio opeke u ispuni je bio 20 %, 40 % ili 60 %.

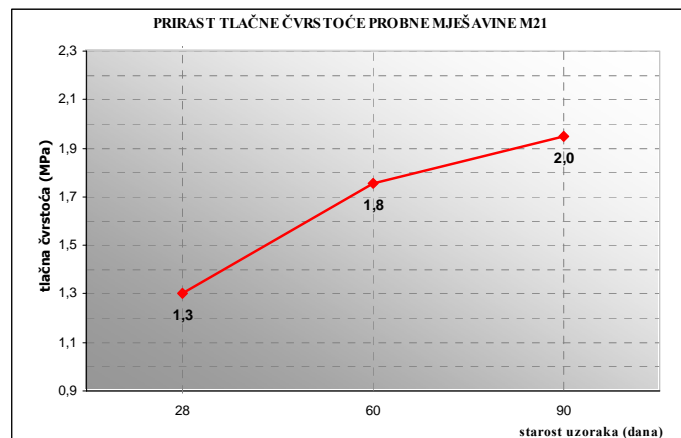
Na svježim mortovima ispitivani su:

- konzistencija prema EN 1015-3 (cca 140 mm, što odgovara preporučenom intervalu za zidanje od 130 do 150 mm);
- sposobnost zadržavanja vode prema EN 1015-8 (90 %);
- porozitet prema EN 1015-7 (3,4 %);
- obradljivost prema EN 1015-9 (vrijeme obradljivosti cca 5 sati na 20 °C) i
- volumna masa svježeg morta prema EN 1015-6 (1.882 kg/m<sup>3</sup>).

Na očvrslim mortovima ispitivana je tlačna čvrstoća pri starostima od 14 do 28 dana, što nije uobičajeno za mješavine tako niskih čvrstoća i dugotrajnog prirasta čvrstoća, ali se bilo prinuđeno zbog kratkog roka za provedbu prethodnih ispitivanja i potrebe donošenja brzih odluka na tehničkim sastancima ekspertne grupe u Mostaru. Na temelju rezultata ispitivanja spravljenih mješavina u svježem i očvrslom stanju i boje morta ekspertna grupa je na prijedlog “IGH-Mostar” usvojila sljedeće recepture morta za zidanje luka ( $D_{max}$  4 mm) i morta za zidanje zidova ( $D_{max}$  16 mm) oznake M21: **vapneno tijesto : lomljena opeka : pijesak = 1:1,5:1 (volumno - na jedinicu veziva).**

Za usvojenu recepturu morta za zidanje luka i zidova ispune izvršena su i specijalna ispitivanja:

- prionljivost morta na originalno obrađenom kamenu (lom nastao u spoju morta za zidanje – kohezijski lom);
- modul elastičnosti nakon 28 dana na prizmicama 4x4x16 cm (1.018,78 MPa).



Slika 5. Dijagram prirasta tlačnih čvrstoća probne mješavine M21

Treba imati u vidu da pri stvarnim uvjetima višeosnog opterećenja morta u spojnici, ovaj mort postiže višestruko veće čvrstoće, što se vidjelo kod kontrolnih ispitivanja na modelima izrađenim prema preporukama ekspertne grupe u Zagrebu. Kontrolna ispitivanja morta na zidanim modelima uvjetovana su radi utvrđivanja utjecaja opterećenja od kamenih blokova na tok očvršćavanja i deformiranja morta u

spojnicama. Vremenskim slijedom opterećivanja modela postignuta je simulacija stvarnog toka zidanja kamenog svoda mosta. Izrađene su 2 grupe zidanih modela: mali (uzorak 1, uzorak 2 i uzorak 3), od kamenih blokova dimenzija 20x20x20 cm i veliki (uzorak 4, uzorak 5 i uzorak 6), od kamenih blokova dimenzija 40x40x20 cm. Tijekom prvih ispitivanja u prisustvu ekspertne grupe na uzorku 1 dobivena je tlačna čvrstoća 15,94 MPa i modul elastičnosti 1.767 MPa.



Slike 6.- 7. Detalji modelskih ispitivanja u Zagrebu

## **2. KONTROLNA ISPITIVANJA MORTOVA I KOMONENTI**

### **2.1. KONTROLNA ISPITIVANJA KOMONENTI**

#### **- Vapneno tijesto “Sukošan” Zadar**

Radna konzistencija, usvojena na temelju prethodnih ispitivanja, je iznosila  $140 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ . Ova konzistencija je osiguravala dovoljnu obradljivost vapnenog tijesta, odnosno homogenizaciju morta u miješalici, bez prevelikog dodavanja vode tijekom pripreme da bi se postigla željena konzistencija. U okviru gradilišne kontrole kvaliteta kontinuirano je vršeno kontrolno ispitivanje konzistencije (prema EN 1015-3) vapnenog tijesta i zbog volumnog doziranja komponenti – osigurana je ista količina vapna u određenom volumenu.

#### **- Riječni pijesak**

Rezultati ispitivanja granulometrijskog sastava, sadržaja sitnih čestica i muljevitosti pijeska (prema DIN 4226-3) su poređeni s uvjetima kvalitete agregata za spravljanje morta za zidanje prema normi HRN U.M2.010. Vlažnost agregata je kontinuirano ispitivana (prema DIN 18125), radi korekcije potrebne količine vode za spravljanje, a i s porastom vlažnosti raste i volumna masa pijeska, što je uzimano u obzir kod volumnog doziranja.

#### **- Lomljena opeka «Jedinstvo» Crvenka**

Za ovo komponentu je ispitivan granulometrijski sastav koji se odnosi na dio lomljene opeke koji se tretira kao ispunja i sadržaj opečne prašine, odnosno udio pucolanski aktivnih čestica do 0,125 mm. Optimalni granulometrijski sastav ispunje, tj. miks pijeska i lomljene opeke je utvrđen je tijekom prethodnih ispitivanja. Na gradilištu je u toku zidanja luka rađena korekcija granulometrijske krivulje pijeska da bi se postigao optimalni granulometrijski sastav pijeska.

## 2.2. KONTROLNA ISPITIVANJA MORTOVA

U toku gradnje luka urađena je prilagodba plana interne kontrole kvalitete u odnosu na vrstu i učestalost ispitivanja, kao rezultat odabira komponentnih materijala za mort, promjene u postupku pripreme morta i samih uvjeta ugradnje na gradilištu. S obzirom na ulogu morta za zidanje luka, odnosno konstruktivne uloge luka s jedne strane, a s druge da je korišteno vapneno tijesto kao komponentni materijal (tako da nije bilo moguća priprema morta odnosno njegova isporuka u predmiješanom stanju na gradilište, kako je bilo predviđeno prema Tehničkim uvjetima) kontroliran je svaki gradilišni miks.

Gradilišna kontrola kvalitete morta za zidanje luka obuhvatala je kontrolu same pripreme morta (provjera točnosti doziranja, eventualne korekcije radne recepture), ispitivanje konzistencije, odnosno ugradljivosti morta i po potrebi ispitivanje obradljivosti morta. Svakodnevno su uzimani i uzorci morta s gradilišta za ispitivanje tlačne čvrstoće pri starostima 28, 60 i 90 dana.

U okviru prethodnih ispitivanja spomenutog morta projektirani su i ispitani sastavi s različitim omjerima udjela pijeska i lomljene opeke u ispuni kao i različiti omjeri veziva (vapnenog tijesta) i ispune, s ciljem utvrđivanja utjecaja ovih variranja na svojstva morta. Dobiveni rezultati su poslužili kao podloga za utvrđivanje područja unutar kojeg su se mogle kretati vrijednosti za određena svojstva morta za zidanje spravljenog na gradilištu.



Slike 8.-9. Izgled gradilišnog miksa morta – homogenost i «plastičnost» morta (lijevo); izgled gradilišnog miksa morta – ugradljivost morta za zidanje (desno)

Postupak spravljanja morta na gradilištu je bio sljedeći:

- volumno doziranje potrebnih količina pijeska i lomljene opeke,
- homogenizacija sastojaka ispune miješanjem u suho (najmanje 5 min.),
- dodavanje potrebne količine vapnenog tijesta u miješalicu,
- miješanje najmanje 15 min uz dodavanje potrebne vode da bi se postigla željena konzistencija.

Vrijeme ugradnje morta nakon pripreme, prema preporukama «IGH-Mostar», je max. 2 sata uzimajući u obzir ekstremne uvjete na gradilištu (ljetno razdoblje). U ovom vremenskom razdoblju nema promjene konzistencije, odnosno gubitka obradljivosti. Ugradnja morta koji je zamiješan prije preporučenih 2 sata je moguća samo uz prethodnu provjeru obradljivosti.

### 2.2.1. Omjeri miješanja komponenti

Od strane ekspertnog tima, na temelju prethodnih ispitivanja koje je proveo “IGH-Mostar” za početak zidanja luka odabrana je probna receptura oznake **M21** (radna receptura oznake **M1**), omjera miješanja

komponenti: vapneno tijesto:pijesak:lomljena opeka = 30 %:30 %:40 % (volumno), odnosno: **vapneno tijesto:pijesak:lomljena opeka = 1:1:1.5 (volumno - na jedinicu veziva)**

Ekspertni tim je za nastavak zidanja luka odabrao probnu recepturu morta oznake **M22** (radnu recepturu oznake **M2**) sastava: vapneno tijesto:pijesak:lomljena opeka = 33 %:34 %:33 % (volumno), odnosno: **vapneno tijesto:pijesak:lomljena opeka = 1:1:1 (volumno - na jedinicu veziva)**.

Iako je radni sastav M2 imao nešto manju (i dalje zadovoljavajuću) tlačnu čvrstoću od radnog sastava M1 odabran je zbog bolje kontrole točnosti doziranja, pošto su komponente na gradilištu volumno dozirane.

### 2.2.2. Ispitivanje konzistencije morta

Konzistencija je ispitivana prema EN 1015-3. Usvojena je radna konzistencija u intervalu od 130-150 mm (što je ujedno i konzistencija koja se preporuča za mort za zidanje).

### 2.2.3. Ispitivanje obradljivosti svježeg morta

Vrijeme obradljivosti morta ispitivano je prema EN 1015-9. Usvojeno vrijeme ugradnje morta nakon pripreme je max. 2 sata, u kojem vremenskom periodu nema promjene konzistencije odnosno gubitka obradljivosti.

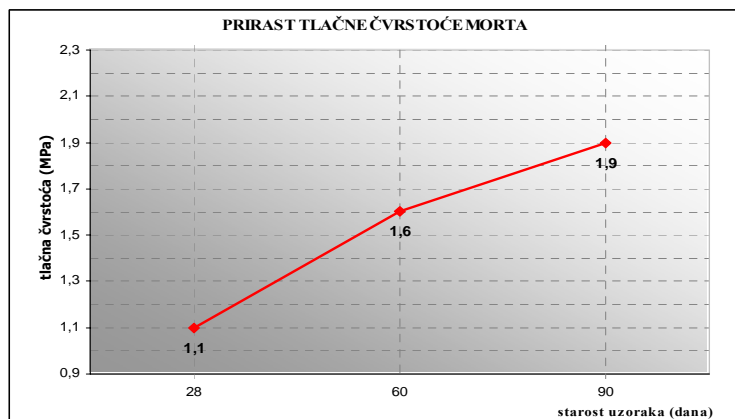
### 2.2.4. Ispitivanje tlačne čvrstoće očvrslog morta

Ispitivanje je provedeno prema EN 1015-11 nakon 28, 60 i 90 dana na čak 86 uzoraka morta za zidanje luka, iako je bilo predviđeno ispitivanje samo 10 uzoraka za 111 redova luka. Prosječne vrijednosti tlačne čvrstoće morta za zidanje su prikazane na dijagramu na Sl. 12, iz kojeg je vidljiv ujednačen prirast tlačne čvrstoće.



Slike 10.-11. Priprema i njegovanje uzoraka morta za ispitivanje tlačne čvrstoće (lijevo); Ispitivanje savojnih i tlačnih čvrstoća mortova na preši (desno)

Uzorci su njegovani u gradilišnim uvjetima. Prosječne vrijednosti 28-, 60- i 90-dnevne tlačne čvrstoće kontrolnih uzoraka su veće od tlačnih čvrstoća probne mješavine njegovane u laboratorijskim uvjetima. Izloženost morta manjoj vlažnosti, većoj temperaturi zraka i boljoj prozračenosti pogodovala je bržem sušenju morta, odnosno boljem prirastu čvrstoće i većoj konačnoj čvrstoći morta.



Slika 12. Prosječan prirast tlačne čvrstoće mortova za zidanje

### 3. LITERATURA

- **Report on additional preliminary testing of arch masonry mortar**, Mostar, VIII. 2003.
- **Control testing report of arch masonry mortar**, Mostar, XII. 2003.
- **Report on model testing of mortar for the arch construction**, Zagreb (Part III), V. 2004.
- Šaravanja, K., Matošević Čolić, M., Bevanda, I.: **A short review of quality control during rehabilitation of the Old bridge in Mostar**, European conference on raw materials and coal – new perspectives, Sarajevo, 2004.