

Davor POPIĆ
Krešimir ŠARAVANJA

MORTOVI ISPOD KALDRME STAROG MOSTA PAVEMENT MORTARS 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 ispod kaldrme (*Dark Red mort*) i morta u spojnicama kaldrme (*Pink mort*).

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 Dark Red mortar and Pink mortar, 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.

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
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

MORTOVI ISPOD KALDRME 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.-3. Faze ugradnje kaldrme Starog mosta u Mostaru

Prethodna i kontrolna ispitivanja su vršena u Gradilišnom i Centralnom laboratoriju «IGH-Mostar», a modelska ispitivanja su vršena na stovarištu kamenih blokova «Komos», Mostar.

U tijeku obnove Starog mosta u Mostaru korišteno je nekoliko vrsta mortova: mort za zidanje luka, mort za zidanje zidova ispune, mort ispod kaldrme - *Dark Red (crveni) mort* i mort u spojnicaama kaldrme - *Pink mort*, od kojih su zadnja dva obrađena u ovom radu.

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 *Dark red morta* 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;

- terra rossa – **crvenica** iz Gradnića kod Čitluka, je dodavana zbog boje i pucolanskih svojstava, a dobrim nabijanjem postaje skoro vodonepropusna. Boja morta s crvenicom odgovara boji nekadašnjeg *Dark Red morta* ("turske izolacije") na mostu, a prema ranijim istraživanjima LGA Instituta pronađena je u ostacima mosta. Pucolanska aktivnost zasnovana je na reakciji amorfnog SiO₂ iz crvenice i Ca(OH)₂ – vapnenog tijesta. Produkt reakcije su kalcij-silikat-hidrati, čvrsti i stabilni spojevi; Za ispitivanje je korištena crvenica sa lokaliteta Gradnići, Čitluk u blizini Mostara, koja po granulometrijskom sastavu spada u izrazito prašinate materijale. Granulometrijski sastav je određen areometriranjem po normi U.B1.018. Pored toga ispitan je kemijski sastav, kao i pucolanska aktivnost prema normi B.C1.018. Kvalitet pucolana definiran je najmanjom tlačnom čvrstoćom uzoraka dobivenih utvrđenim postupkom, a ocjenjuje se klasom pucolanske aktivnosti (raspon od 5 do 15). Ovaj materijal je imao tlačne čvrstoće oko 7 MPa.

- **boksit** s Žovnice kod Mostara u mortu je služio isključivo kao pigment. Izvršena je kemijska analiza, kao i ispitivanje pucolanske aktivnosti. Boksit je odbačen zbog slabe, skoro nikakve pucolanske aktivnosti i neodgovarajuće nijanse boje;

- **lomljena opeka** «IGM» Visoko, crvene boje, D_{max} 2 mm, kao ispuna i pigment za boju;

- **drobljeni agregat** «IN KA» Ljubuški i «Miljkovići» Mostar u *Dark Red mortu* korišten je kao agregatna ispuna. Zrna agregata obavijena vezivom formirala su skelet koji je mortu dali dobre fizikalno-mehaničke karakteristike. Posebno je značajno to što se udjelom agregata smanjuju deformacije (skupljanje, bubrenje, puzanje). Korišteni agregat je drobljeni frakcionirani vapnenac proizvođača «IN KA», porijeklom iz kamenoloma Crveni grm kod Ljubuškog i agregat proizvođača «Miljkovići» kod Mostara. Za dobivanje povoljnog granulometrijskog sastava korištene su dvije frakcije agregata (0-4 i 4-8 mm) u omjeru 1:1.

Za spravljanje *Pink morta* korišteni su sljedeći komponentni materijali:

- **vapneno tijesto**, kao vezivo;

- **lomljena opeka** «IGM» Visoko, crvene boje, D_{max} 2 mm, kao ispuna i pigment za boju;

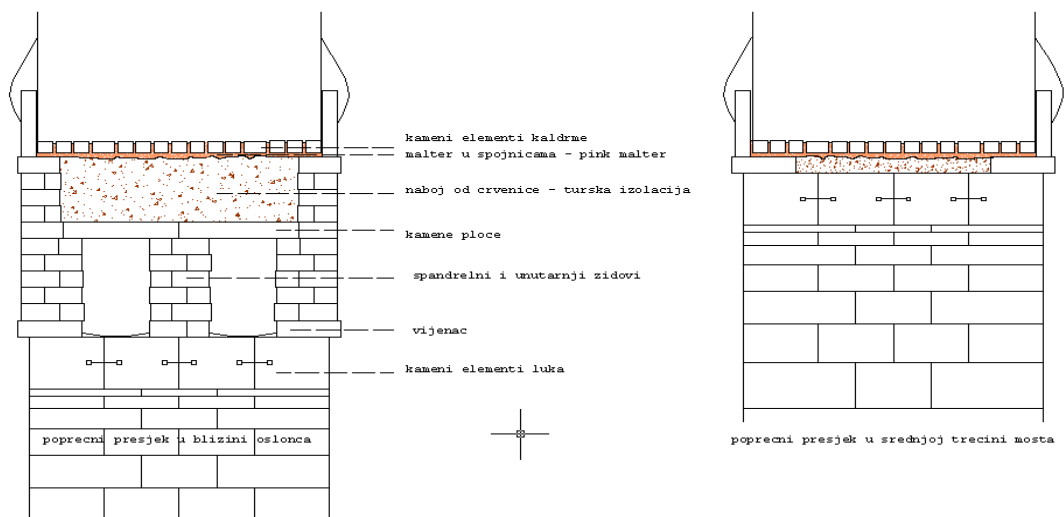
- **kameno brašno** «IGM» Posušje u *Pink mortu* poslužilo je kao filer i kao regulator nijanse boje morta. Korišteno je kameno brašno proizvođača «IGM» Posušje, dobiveno mljevenjem vapnenca;

- **drobljeni agregat**, kao ispuna.

1.2. PRETHODNA ISPITIVANJA MORTOVA

Dark red mort (ili *Turska izolacija*) nalazi se neposredno iznad kamenih ploča štednih otvora mosta i iznad kamenih elemenata luka mosta. Zadatak ovog sloja morta je preuzeti opterećenje od kaldrme i pješačkog prometa na njoj i onemogućiti prodor vode u elemente mosta. Kaldrma mosta uronjena je u *Pink mort* koji do vrha ispunjava spojnice između kamenih elemenata. Namjena mu je ukrutiti kaldrmu i onemogućiti prodor vode.

Prethodna ispitivanja su urađena u Mostaru u razdoblju lipanj-prosinac 2003. godine. Svi postupci (uzorkovanje komponenti, spravljanje, njegovanje uzoraka za ispitivanje i ispitivanje) urađeni su u skladu s postojećim domaćim i europskim normama. U laboratorijskim uvjetima su, variranjem komponenti i njihovih međusobnih odnosa, spravljene razne vrste mortova. Komponente mortova su dozirane volumno, vodeći računa o jednostavnosti postupka na gradilištu i tradicionalnom načinu spravljanja. Greške pri ovakvom doziranju u laboratoriju su male pošto se koristi ujednačen materijal. Posebna pažnja na gradilištu posvećena je doziranju i deponiranju materijala radi zaštite od vlage jer se promjenom vlažnosti mijenjaju volumne mase. Variranjem udjela komponenti dobiveni su mortovi željenih svojstava (boja, tradicionalni izgled, tlačna čvrstoća, mala vodopropusnost, malo skupljanje i bubrenje). Na temelju rezultata prethodnih ispitivanja i boje probnih mješavina kao radne recepture odabrane su M49 - za *Dark Red mort* i M37 - za *Pink mort*, odnosno M52 kao njegov varijetet.



Slika 4. Poprečni presjek Starog mosta blizu oslonaca i u srednjoj trećini raspona

1.2.1. MORT ISPOD KALDRME - "CRVENI MORT"

Crveni mort nalazi se neposredno ispod kamenih elemenata kaldrme. Na nekadašnjem mostu ovaj "mort" bio je nabijeni nasuti sloj (naboj) od zemlje crvenice i drobljenog kamena s dodatkom vapna kao veziva. Spravljao se dodavanjem živog (negašenog) vapna u zemlju crvenicu i gašenjem (dodavanjem vode) na mjestu ugradnje. Odgovarajuća vrsta morta koja je korištena na rekonstrukciji mosta izvedena je kao kemijski (vapnom) i mehanički (nabijanjem) stabilizirani sloj različite debljine (uz krajeve mosta do 120 cm, a na sredini mosta oko 25 cm).



Slike 5.-10. Detalji ispitivanja svojstava *Dark Red* morta

Svojstva ovakvih slojeva (čvrstoća, vodopropusnost, postojanost) izravno su ovisna o zbijenosti, pa je ovom parametru posebno posvećena pažnja. Kad materijal sadrži previše vode ne možemo ga zbiti jer nam to onemogućava voda koja je nestišljiva. Suh materijal se teško zbija zbog povećanog trenja između čestica. Urađeni Proctor-ovi opiti su dali optimalnu vlažnost materijala pri kojoj se materijal najlakše zbija, odnosno sadrži najmanje šupljina. Da bi se izbjegle veće deformacije morta (skupljanje, bubrenje, puzanje) korišten je drobljeni agregat D_{max} 8 mm, a u donjim slojevima korištena su i veća zrna. Crvenica je korištena kao pigment i kao materijal koji ima dobra vodonepropusna svojstva u zbijenom stanju. U nekim probnim modelima morta kao pigment korišten je boksit.

Na svježem mortu su urađena ispitivanja konzistencije, volumne mase po Proctor-u, optimalnog sadržaja vode po Proctor-u (za mehanički stabilizirane slojeve morta ispod kaldrme) i otpora prodiranju Proctor-ovoj igli.

Za ispitivanja fizikalno-mehaničkih svojstava morta u očvrslom stanju spravljani su uzorci u obliku prizmi $4 \times 4 \times 16$ cm i uzorci za VDP u obliku valjka $\varnothing/h=10/10$ cm. Ispitani su savojna čvrstoća, tlačna čvrstoća, volumne deformacije (skupljanje i bubrenje), vodopropusnost.

Modelska ispitivanja na lokaciji “Komos” Mostar

Na lokaciji «Komos» napravljeni su model 1 s mortom od vapnenog tijesta (donji sloj) i s hidratiziranim vapnom u prahu (gornji sloj) i model 2 s tradicionalno žarenim vapnom. Crvenica je prethodno prosijana kroz sito od 2 mm radi uklanjanja krupnih zrna boksita, ali i drugih čestica. Na modelu 1 terenski je ispitivana vodonepropusnost. Nakon očvršćavanja iz oba modela izvađeni su komadi radi usporedbe boja. Vodeći računa o pokazanim bitnim svojstvima ispitanih modela morta, sugestijama nadzora, Izvoditelja i Naručitelja, te o što lakšem načinu spravljanja i ugradnje «IGH-Mostar» je preporučio: mort ispod kaldrme (crveni mort) - probna mješavina M49 (ili M51).

Ova vrsta morta je masivni mort i rađen je kao naboj u više slojeva. Volumni udjeli komponenti se mogu varirati, npr. vapno:crvenica:ispuna = 20/50:40/30:40. Preporučena debljina nabijanih slojeva je do 10 cm. U donjim slojevima dodatno su ubačene i krupnije frakcije drobljenog kamena. Na probnom modelu pokazano je da se korištenjem hidratiziranog vapna u prahu umjesto vapnenog tijesta dobije mort sličnih karakteristika (probna mješavina M51). Nabijenost slojeva je kontrolirana mjerenjem volumne mase (min. 95% volumne mase dobivene po standardnom Proctor-ovom opitu) i/ili mjerenjem otpora utiskivanju Proctor-ove igle. Posebna pažnja je upućena na njegovanje svježih nabijenih slojeva (zaštita od naglog sušenja i ekstremnih temperatura).



Slike 11.-12. Zbijanje crvenog morta u slojevima

1.2.2. MORT U SPOJNICAMA KALDRME - "PINK MORT"

Na nekadašnjem mostu kameni elementi kaldrme bili su uronjeni i povezani mortom boje slične boji žilica na kamenu – svijetlo roza boja. Zbog te boje nazvan je *Pink mort*. Mort je bio spravljen sa ispunom od crvenice ili boksita i vezivom – živo vapno gašeno u ispuni. U probnim mješavinama novih odgovarajućih mortova korišteni su isti materijali uz dodavanje kamenog brašna za dobivanje nijanse, a urađene su i probe s mljevenom opekom. Umjesto živog vapna koristilo se vapneno tijesto.

Važna svojstva ovog morta su savojna čvrstoća, tlačna čvrstoća, vodopropusnost, kapilarna i hidrostatska vodopojnost, prionjivost na kamen – Pull off test, postojanost na mraz, volumne deformacije – skupljanje i bubrenje, pa su u skladu s tim provedene odgovarajuće vrste ispitivanja. Za ispitivanja fizikalno-mehaničkih svojstava morta u očvrslom stanju spravljeni su uzorci u obliku prizmi $4 \times 4 \times 16$ cm i uzorci za VDP u obliku valjka $\varnothing/h=10/10$ cm. Na njima su urađena ispitivanja savojne i tlačne čvrstoće, volumnih deformacija i vodopropusnosti.

Vodeći računa o pokazanim bitnim svojstvima ispitanih modela morta, sugestijama nadzor, Izvoditelja radova i Naručitelja, te o što lakšem načinu spravljanja i ugradnje «IGH-Mostar» je preporučio: **mort u spojnicama (*Pink mort*) - probna mješavina M52 i M53**. Mort s oznakom M52 prvenstveno je namjenjen za fugiranje (ispunu spojnica). Konzistencija je prilagođena prema metodi fugiranja. Podložni sloj morta ispod kamenih elemenata kaldrme pa sve do $3/4$ visine kamena mogao se spraviti kao model M53. To je u stvari model M52 s dodatkom agregatne ispune od drobljenog kamena (frakcije $0/4 + 4/8$ mm). Volumni udjeli komponenti su bili: vapno:opeka:brašno:ispuna =20:30:20:30.



Slike 13.-15. Detalji ispitivanja svojstava *Pink morta*

2. KONTROLNA ISPITIVANJA MORTOVA I KOMPONENTI

2.1. KONTROLNA ISPITIVANJA KOMPONENTI

- **Lomljena opeka** je samljevena na gradilištu i pakirana u vreće. U okviru kontrole kvalitete ispitivan je granulometrijski sastav (prema normi DIN 4226-3) koji se odnosi na dio opeke koji se tretira kao ispuna i sadržaj opečne prašine, odnosno udio pucolanski aktivnih čestica < 0.125 mm.

- **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.

- **Crvenica (Terra rossa) iz Gradnića kod Čitluka** na gradilište je dostavljena prethodno prosijavana i provjerena, pakirana u vrećama.

- **Kameno brašno "IGM" Posušje, drobljeni agregat "IN KA" Ljubuški i «Miljkovići» Mostar;** «IGH-Mostar» je vršio stalnu kontrolu proizvodnje i kamenog brašna i frakcija drobljenog agregata oba proizvođača. Na gradilištu je vršena provjera granulometrijskog sastava i sadržaja sitnih čestica do 0,090 mm. Za dobivanje povoljnog granulometrijskog sastava korištene su dvije frakcije agregata 0/4 i 4/8 mm u odnosu 1:1.

2.2. KONTROLNA ISPITIVANJA CRVENOG MORTA

Na gradilištu je kontinuirano provjeravana zbijenost ugrađenih slojeva ispitivanjem sile prodora, mjerenjem otpora utiskivanju Proctor-ove igle. Iz ugrađenih slojeva vađeni su (neporemećeni) uzorci na kojima je u laboratoriju ispitivana:

1. vlažnost i volumna masa;
2. volumne deformacije – skupljanje i bubrenje;
3. savojna i tlačna čvrstoća i
4. vodopropusnost izražena koeficijentom vodopropusnosti.

- **Omjeri miješanja komponenti;** Na osnovu prethodnih ispitivanja koje je proveo IGH usvojena je probna mješavina **M 49** sastava:

vapneno tijesto: crvenica: ispuna = 20 : 40 ÷ 50 : 40 ÷ 30 (% ,vol.), odnosno,

vapneno tijesto: pijesak: lomljena opeka = 1 : 2 ÷ 2,5 : 2 ÷ 1,5 (vol., u odnosu na jed.veziva)

S obzirom na promjenljivu debljinu podložnog sloja udjeli komponentnih materijala su po potrebi varirani (debljina sloja je varirala od cca.120 cm na upornjacima do cca.25 cm na tjemenu mosta). U nižim slojevima je veće učešće agregatne ispune u odnosu na ostale dvije komponente.

- **Ispitivanje zbijenosti;** Maksimalna zbijenost crvenog morta/naboja uz optimalnu vlažnost određena je u Centralnom laboratoriju «IGH-Mostar» prema normi HRN U.B1.048, odnosno Proctor-ovim opitima prema normi HRN U.B1.038. Stupanj zbijenosti definiran je preko volumne mase kontrolnih (neporemećenih) uzorka i prema uvjetu kvalitete mora iznositi min. 95% volumne mase određene u laboratorijskim uvjetima po metodi Proctor. Zbijenost slojeva «in situ» je kontrolirana mjerenjem otpora utiskivanju Proctorove igle. Na temelju izmjerene sile prodiranja pri utiskivanju moguća je kontrola zbijenosti, odnosno volumne mase. Na gradilištu su vađeni i uzorci iz ugrađenog materijala radi provjere/ ispitivanja vlažnosti i volumne mase.

Dobiveni optimalni sadržaj vode za crveni mort – vlažnost materijala pri kojem je postignuta maksimalna zbijenost – određen u laboratorijskim uvjetima prema standardnoj metodi Proctor-a bio je 17,8 %, maksimalna volumna masa 1.730 kg/m³, te otpor prodiranja valjku od 25 kg/cm².

Iz dijagrama korelacije volumne mase, vlažnosti i otpora prodiranja za crveni mort određenog u okviru prethodnih ispitivanja, proizilaše su dopuštene minimalne i maksimalne vrijednosti pojedinih veličina, odnosno dopušteni intervali kao tehnički uvjeti za crveni mort, i to:

- volumna masa suhog uzorka; dop.interval: 1.645 –1.730 kg/m³,
- vlažnost materijala; dop. interval: 16,5 - 20,5 %.

Stupanj zbijenosti je ispitan na 3 uzoraka crvenog morta.

- **Ispitivanje volumnih deformacija – skupljanje i bubrenje** vršeno je prema normi HRN B.C8.029. Ispitana su 2 uzorka, a dobiveni rezultati su bili -1,1 %, odnosno -0,9 %, dok je vrijednost skupljanja/bubrenja referentne mješavine, izrađene u tijeku prethodnih ispitivanja bila -1,3/ 0,0 %.

- **Ispitivanje vodopropusnosti** vršeno je određivanjem koeficijenta vodopropusnosti je prema normi HRN U.B1.034. Ispitivanje je provedeno s permeametrovom sa opadajućim tlakom vode. Ukupno su ispitana dva uzorka, rezultati ispitivanja su dati u tabeli br.3. Srednja vrijednost koeficijenta probne mješavine M49 je $k = 2,2E-0,6$ cm/sec.



Slike 16.-18. Kontrolna ispitivanja *Dark Red* morta

2.3. KONTROLNA ISPITIVANJA *PINK* MORTA

- Omjeri miješanja komponenti

- mort - izravnavajući sloj u koji se polagao kamen kaldrme - probna mješavina spravljena u tijeku prethodnih ispitivanja pod oznakom M53: vapneno tijesto: lomljena opeka: drobljeni agregat: kameno brašno = 20 : 30 : 30 : 20 (% vol.) odnosno, vapneno tijesto: lomljena opeka: drobljeni agregat: kameno brašno = 1:1,5:1,5:1 (volumno, u odnosu na jedinicu veziva)
- mort za fugiranje kamena kaldrme - izabrana je probna mješavina oznake M52: vapneno tijesto: lomljena opeka: kameno brašno = 30 : 40 : 30 (% vol.), odnosno vapneno tijesto:lomljena opeka:kameno brašno=1:1,5:1 (volumno, u odnosu na jedinicu veziva).

- **Ispitivanje konzistencije**; na gradilištu je ugrađivan mort zemljovlažne konzistencije umjesto plastične (kako je prvobitno bilo predviđeno), jer je tijekom ugradnje mort i mehanički zbijan, pa predviđeno ispitivanje konzistencije prema normi EN 1015-3 – Ispitivanje konzistencije mortova za zidanje nije radeno.

- **Ispitivanje savojne i tlačne čvrstoće** je provedeno prema normi EN 1015-11 (savojna i tlačna čvrstoća), nakon 28, 60 i 90 dana.

- **Ispitivanje kapilarno upijanje vode**; koeficijent kapilarnog upijanja ispitano je prema normi HRN U.M8.300 i to za *Pink* mort za fugiranje. Koeficijent kapilarnog upijanja je $A = 9,25 \text{ kg/m}^2/\text{h}^{1/2}$ (u prethodnim ispitivanjima je $A = 9,10 \text{ kg/m}^2/\text{h}^{1/2}$).

- **Ispitivanje skupljanja** vršeno je prema normi HRN B.C8.029. Ispitana su 4 uzorka. Vrijednost skupljanja referentne mješavine M52 (probna mješavina spravljena bez agregatne ispune) izrađene u tijeku prethodnih ispitivanja je bila -0,9 % .

3. LITERATURA

- **Preliminary testing report on pavement mortars**, Mostar, XII. 2003.
- **Control testing report on pavement mortars**, Mostar, VI. 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.