

# KRATKI PRIKAZ KONTROLE KVALITETE PRI OBNOVI STAROG MOSTA U MOSTARU

## UVOD

Radovi na obnovi Starog mosta u Mostaru povjereni su turskoj tvrtki «ER-BU Construction and Trade», koja je kontrolu kvalitete povjerila «IGH-Mostar» d.o.o. Mostar u suradnji s matičnom kućom Institutom građevinarstva Hrvatske «IGH» d.d. Zagreb. Prethodna, kontrolna i naknadna ispitivanja mortova, injekcijskih smjesa i njihovih komponenti izvršena su prema usvojenom Programu prethodnih ispitivanja i Planu kontrole (kvalitete) pri obnovi Starog mosta u Mostaru.



Slika 1. Stanje obnove Starog mosta u Mostaru krajem 2003. godine

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

Zbog ograničenja raspoloživog prostora u radu je prikazana kontrola kvalitete mortova, ali ne i injekcijskih smjesa, te kamena.







Slike 2.-3. Gradilišni laboratorij (lijevo) i detalj iz Centralnog laboratorija «IGH-Mostar» (desno)

## PRETHODNA ISPITIVANJA MORTOVA I KOMPONENTI

U tijeku obnove Starog mosta u Mostaru korišten je nekoliko vrsta mortova:

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

vrsta morta	vezivo (V)	ispuna (I)	dodatak (D)	odnos V/I+D % vol.	odnos V/I+D vol.	boja uzorka
mort za zidanje	vapneno tijesto	pijesak 0-4 mm	lomljena opeka (žuta)	33/34+33	1/1+1	
mort za ispunu	vapneno tijesto	pijesak 0-16 mm	lomljena opeka (žuta)	33/34+33	1/1+1	
crveni mort	vapneno tijesto	drobljeni agregat 0-8 mm	Terra rossa	20/80	1/1,5+2,5	
«pink» mort	vapneno tijesto	drobljeni agregat 0-8 mm + lomljena opeka (crvena)	kameno brašno	20/80	1/1,5+1,5+1	
«pink» mort za fugiranje	vapneno tijesto	lomljena opeka (crvena)	kameno brašno	28/72	1/1,5+1	

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 MORTOVA

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

- vapneno tijesto; vezivo
- hidratizirano vapno; vezivo
- različite vrste lomljene opeke, maksimalnog zrna 2 mm; pucolanski dodatak i pigment za boju
- različite vrste riječnog agregata veličine zrna 0-2 mm, 0-4 mm, odnosno 0-16 mm; ispuna
- amorfni SiO<sub>2</sub>; pucolanski dodatak

Za spravljanje Dark red morta korišteni su sljedeći komponentni materijali:

- vapneno tijesto; vezivo
- terra rossa – crvenica; ispuna i pigment za boju

- boksit, pigment za boju
- lomljena opeka crvene boje, maksimalnog zrna 2 mm; ispuna i pigment za boju
- drobljeni agregat ; ispuna

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

- vapneno tijesto; vezivo
- lomljena opeka; ispuna i pigment za boju
- kameno brašno; filer u ispuni
- drobljeni agregat; ispuna.



Slike 4.-6. Komponente mortova za zidanje luka i zidova ispune: vapneno tijesto, pijesak i lomljena opeka

- **Vapneno tijesto «Sukošan» Zadar, hidratizirano dolomitno vapno “Kamen Sirač” Sirač i hidratizirano kalcitno vapno «Kalun» Drniš**

Kao vezivni materijal u mortovima prilikom izgradnje nekadašnjeg mosta koristilo se negašeno "živo vapno" [CaO] koje se gasilo tijekom spravljanja morta.

Tijekom preliminarnih ispitivanja 2002. godine odabrano je tradicionalno dobiveno vapneno tijesto [Ca(OH)<sub>2</sub> × n H<sub>2</sub>O] iz Sukošana kod Zadra. Na početku prethodnih ispitivanja u Zagrebu ponovnom kemijskom analizom utvrđeno je da ispitani uzorak zadovoljava za izradu tradicionalnog vapnenog morta u pogledu kemijskog sastava.

Kao alternativno vezivo "IGH" je predložio hidratizirano dolomitno vapno "Kamen Sirač" iz Sirača koje daje mortove većih tlačnih čvrstoća (u odnosu na kalcitno), za koji je također izvršena kemijska analiza.

Kao vezivni materijal za mortove ispod kaldrme korišteno je tvornički dobiveno hidratizirano kalcitno vapno u prahu [Ca(OH)<sub>2</sub>] proizvođača «Kalun» d.d. Drniš.

- **Riječni pijesak «Izgradnja» Konjic i «Čapljina»**

Prethodna ispitivanja mortova za zidanje luka i zidova ispune u Zagrebu i dobar dio na od ekspertne grupe 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. Međutim, mineraloško-petrografska analiza je pokazala prisustvo izvjesne količine potencijalno štetnih komponenti, koje su uzrokovale spor ili nikakav prirast čvrstoće mortova za starosti od 14 do 28 dana, pa je nakon izvršenih ekspertiza u Zagrebu odlučeno zamijeniti ga riječnim pijeskom iz Čapljine.

Prvobitna ideja za korištenjem pijeska maksimalnog zrna 2 mm (za prethodna ispitivanja izvršena u Zagrebu) je napuštena i prešlo se na korištenje pijeska maksimalnog zrna 4 mm, dok je za zidanje zidova ispune predviđeno korištenje maksimalnog zrna agregata 16 mm.

- **Dodaci i aditivi**

U probnim mješavinama radi dobivanja radnog sastava optimalnih svojstava korišteni su i razni dodaci i aditivi, kao što su:

- amorfni SiO<sub>2</sub> «KEMA Puconci», Puconci za pucolansko aktiviranje vapna i
- razne vrste lomljene opeke: "Jedinstvo" Crvenka, «Radnik» Križevci i "IGM" Visoko.

Opeka «Jedinstvo» Crvenka korištena je za pucolansko aktiviranje vapna. Imala je 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). Lomljena opeka «IGM» Visoko korištena je kao pigment za dobivanje zahtjevane boje *Pink morta*.

Za mješavinu mortova korištena je lomljena opeke 0-2 mm. Predviđeni sadržaj potencijalno pucolanski aktivnih čestica sitnijih od 0,125 mm je bio minimalno 20 % (maseno).



Slike 7.-12. Komponente mortova za zidanje mortova ispod kaldrme:  
hidratizirano vapno, crvenica, boksit, lomljena opeka, kameno brašno i drobljeni pijesak

#### - **Crvenica (Terra rossa) iz Gradnića kod Čitluka**

Crvenica (*Terra rossa*) 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  $\text{SiO}_2$  iz crvenice i  $\text{Ca(OH)}_2$  – 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**

Korišten je boksit s Žovnice kod Mostara. U mortu služi 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

#### - **Kameno brašno «IGM» Posušje**

Kameno brašno 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 «IN KA» Ljubuški**

Drobljeni vapnenac u *Dark Red mortu* korišten je kao agregatna ispuna. Zrna agregata obavijena vezivom formiraju skelet koji mortu daje dobre fizičko-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. Za dobivanje povoljnog granulometrijskog sastava korištene su dvije frakcije agregata (0-4 i 4-8 mm) u omjeru 1:1.

## 1.2. PRETHODNA ISPITIVANJA MORTOVA ZA ZIDANJE LUKA I ZIDOVA ISPUNE

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 amorfni  $\text{SiO}_2$  «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 («RADNIK» Križevci) 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 «Radnik» Križevci 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 prvobitno lomljena opeka (u prvoj fazi) korištena prvenstveno kao dodatak za pucolansko aktiviranja 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 : ispune (pijesak + lomljena opeka) su bili 1:1, 1:1,5, 1:2 i 1:2,5, a udio opeke u ispuni je 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 tehničkom sastanku, 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).**

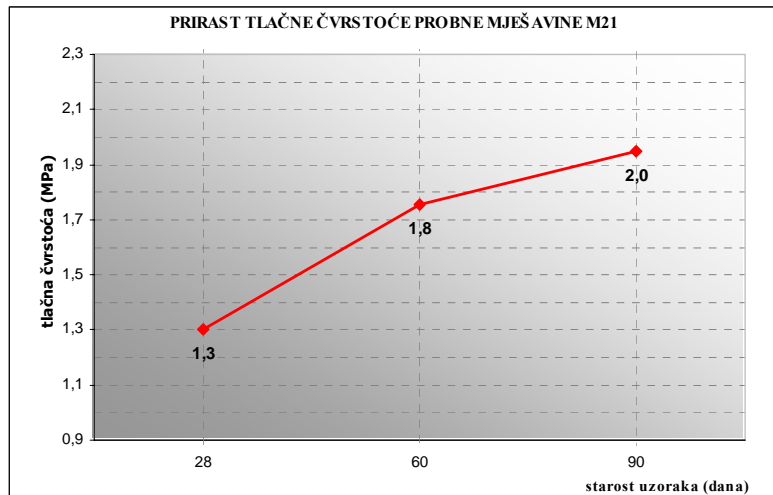


Slika 13. Mort za zidanje luka oznake M21

Zbog uočene stagnacije prirasta tlačne čvrstoće proba tijekom prethodnih ispitivanja, izuzev probne mješavine s najmanjim udjelom pijeska (10%), pristupilo se dodatnom ispitivanju pijeska. 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. Predloženi su agregati «Vodoprivrede» i «Neretve-E».

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 prizmama 4x4x16 cm (1.018,78 MPa).



Slika 14. Dijagram prirasta tlačnih čvrstoća probne mješavine M21

**Napomena:** referentna mješavina tj. probna mješavina spravljena u istom omjeru, ali samo sa pijeskom u ispuni ima 28-dnevnu tlačnu čvrstoću 0,6 MPa

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.



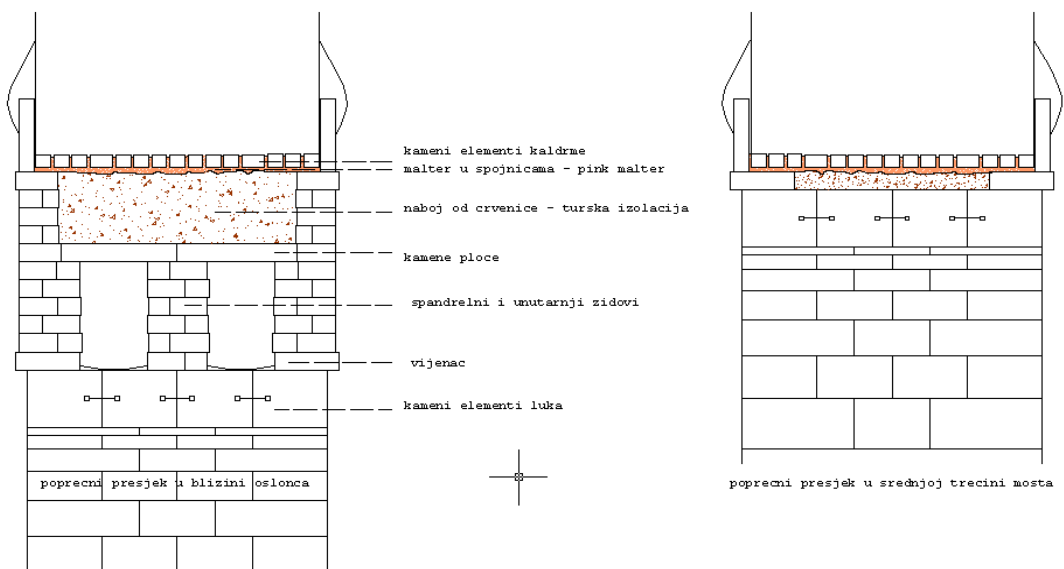
Slike 15.-16. Detalji modelskih ispitivanja u Zagrebu

### 1.3. PRETHODNA ISPITIVANJA MORTOVA ZA MORTOVE U KALDRMI

S obzirom da se radi replika Starog mosta Investitor je zahtjevao da se koriste tradicionalni komponentni materijali, a poseban naglasak je stavljen na izgled morta, odnosno boju koja je morala biti što sličnija boji «originalnih» 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 sa postojećim domaćim i europskim normama.



Slika 17. Položaj slojeva mortova na poprečnom presjeku mosta blizu oslonca i na sredini mosta

Laboratorijski su, varirajući komponente i njihove međusobne odnose, spravljene razne vrste mortova. Komponente mortova su dozirane volumno, vodeći računa o jednostavnosti postupka na gradilištu i tradicionalnom načinu spravljanja mortova. Greške pri ovakvom doziranju u laboratoriju su male pošto se koristi ujednačen materijal. Posebnu pažnju na gradilištu treba obratiti na doziranje i deponiranje materijala (pijesak, crvenicu, mljevenu opeku zaštititi od vlage jer se promjenom vlažnosti mijenjaju volumne mase).

Variranjem udjela osnovnih komponenti dobiveni su mortovi željenih karakteristika (boja, tradicionalni izgled, tlačna čvrstoća, mala vodopropusnost, malo skupljanje i bubrenje).

Na temelju rezultata prethodnih ispitivanja i boje probnih mješavina odabrane kao radne recepture odabrane su M 49 - za *Dark Red mort* i M 37 - za *Pink mort*, odnosno M52 kao njegov varijetet.



Slike 18.-20. Boja izvornih mortova (lijevo), boja *Dark Red morta* M 49 (u sredini) i *Pink morta* M 52 (desno)

### 1.3.1. 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. Spravljaio 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).

Svojstva ovakvih slojeva (čvrstoća, vodopropusnost, postojanost) direktno su ovisna o zbijenosti, pa je na ovaj parametar posebno stavljena pozornost. 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 nam 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 veličine zrna 0-8 mm, a u donjim slojevima se na mostu mogu koristiti 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 fizičko-mehaničkih svojstava morta u očvrslom stanju spravljeni su uzorci u obliku prizmi 4×4×16 cm i uzorci za VDP u obliku valjka Ø/h=10/10 cm. Ispitani su savojna čvrstoća, tlačna čvrstoća, volumne deformacije (skupljanje i bubrenje), vodopropusnost.



Slike 21.-26. Detalji ispitivanja svojstava *Dark Red* morta

### Modelska ispitivanja na lokaciji "Komos" Mostar

Na lokaciji «Komos» napravljeni su modeli, i to: model 1 u 2 sloja: sa mortom od vapnenog tijesta (donji sloj) i sa 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.

Slike 27.-30. Model 1 – ispitivanje vodonepropusnosti; prosijavanje crvenice; određivanje vremena vezanja ispitivanjem otpora utiskivanju igle; poprečni presjek slojeva

### 1.3.2. MORT U SPOJNICAMA KALDRME - "PINK MORT"

Na nekadašnjem mostu su kameni elementi kaldrme bili 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 (izražena koeficijentom vodopropusnosti), kapilarna i hidrostatska vodoupojnost, prionjivost na kamen – Pull off test, postojanost na mrazu, volumne deformacije – skupljanje i bubrenje, pa su u skladu s tim provedene odgovarajuće vrste ispitivanja.

Za ispitivanja fizičko-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 Supervizora, Izvođača radova i Naručitelja, te o što lakšem načinu spravljanja i ugradnje «IGH-Mostar» je preporučio sljedeće vrste mortova:

❖ **MORT ISPOD KALDRME (CRVENI MORT)- PROBNA MJEŠAVINA M49 (ili M51)**

Ova vrsta morta je masivni mort i trebalo bi ga izraditi kao naboj u više slojeva. Volumni udjeli komponentnih materijala se mogu varirati, npr. [vapno/crvenica/ispuna =  $20 / 50 \div 40 / 30 \div 40$ ]. Preporučena debljina slojeva koji se nabijaju je do 10 cm. U donjim slojevima mogu se dodatno ubaciti i krupnije frakcije drobljenog kamena. Na probnom modelu na gradilištu («Komos», Mostar) pokazano je da se korištenjem hidratiziranog vapna u prahu umjesto vapnenog tijesta dobije mort sličnih karakteristika (probna mješavina M51). Nabijenost slojeva treba kontrolirati mjerenjem volumne mase (min. 95% volumne mase dobivene po standardnom Proctorovom opitu) ili mjerenjem otpora utiskivanju Proctorove igle. Posebnu pažnju obratiti na njegovanje svježih nabijenih slojeva (zaštita od naglog sušenja i ekstremnih temperatura).

❖ **MORT U SPOJNICAMA (PINK MORT) - PROBNA MJEŠAVINA M52 i M53**

Mort s oznakom M52 prvenstveno je namjenjen za fugiranje (ispunu spojnica). Konzistenciju treba prilagoditi prema metodi fugiranja. Podložni sloj morta koji će se nalaziti ispod kamenih elemenata kaldrme pa sve do  $\frac{3}{4}$  visine kamena može 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 približno bi bili: vapno/opeka/brašno/agregatna ispuna =  $20/30/20/30$ .

M37	vapneno tijesto	lomljena opeka	kameno brašno	Stone dust	30/70	1/1,3+1	122	-0,9	1,1		4,2	4,3	
M49	vapneno tijesto	drobljeni vapnenac	terra rossa	Terra rossa	20/80	1/1,5+2,5	100	-1,3 +0,0	0,8	2,0	3,8	3,8	
M52	vapneno tijesto	lomljena opeka	kameno brašno	Stone dust	28/72	1/1,5+1	130	-0,9 +0,0	1,3	1,2	2,9	3,0	



Slike 31.-33. Detalji ispitivanja svojstava *Pink morta*

## 2. KONTROLNA ISPITIVANJA MORTOVA I KOMPONENTI

### 2.1. KONTROLNA ISPITIVANJA KOMPONENTI MORTOVA

U okviru interne kvalitete su ispitivani i komponentni materijali za mort: konzistencija vapnenog tijesta, granulometrijski sastav i sadržaj sitnih čestica pijeska, granulometrijski sastav lomljene opeke.

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

Radna konzistencija je iznosila  $140 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ . Ova konzistencija, usvojena na temelju prethodnih ispitivanja morta za zidanje, osiguravala je dovoljnu obradljivost vapnenog tijesta, odnosno omogućavala 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 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 i «IGM» Visoko**

Za ovo komponentu je ispitivan granulometrijski sastav koji se odnosi na dio lomljene opeke koji se tretira kao ispuna i sadržaj opečne prašine, odnosno udio pucolanski aktivnih čestica manjih od  $0,125 \text{ mm}$ . Preporuka «IGH-Mostar» je da isti treba biti minimalno 20 % (maseno).

Optimalni granulometrijski sastav ispunje, tj. miks pijeska i lomljene opeke je utvrđen je u toku prethodnih ispitivanja. Na gradilištu je u toku zidanja luka rađena korekcija granulometrijske krivulje pijeska da bi se postigao optimalni granulometrijski sastav pijeska.

#### - **Hidratizirano vapno «Kalun» Drniš**

U okviru prethodnih ispitivanja izvršena su ispitivanja osnovnih fizičko-mehaničkih svojstava ovog vapna, koja su bila u skladu s deklaracijom proizvođača. Korišten je originalno pakirani materijal, tako da je izvršeno jedno dodatno ispitivanje.

#### - **Crvenica (Terra rossa) iz Gradnića kod Čitluka**

Na gradilište je dostavljana prethodno prosijavana i provjerena crvenica, pakirana u vrećama.

#### - **Kameno brašno “IGM” Posušje i drobljeni agregat “IN KA” Ljubuški**

«IGH-Mostar» vrši stalnu kontrolu proizvodnje i kamenog brašna i frakcija drobljenog agregata oba proizvođača. Na gradilištu je vršena provjera granulometrijskog sastava i sadržaja sitnih čestica do  $0,090 \text{ mm}$ .

## **2.2. KONTROLNA ISPITIVANJA MORTOVA ZA ZIDANJE LUKA I ZIDOVA ISPUNE**

Prema Tehničkoj specifikaciji i Planu kontrole kvaliteta, u okviru kontrole u toku izvođenja radova, bila su predviđena ispitivanja 10 serija morta za zidanje luka tijekom gradnje luka.

U toku gradnje luka urađena je prilagodba plana interne kontrole kvalitete u odnosu na vrstu i učestalost ispitivanja, kao rezultat samog 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 Tehničkoj specifikaciji) 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 ispunje, 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 34.-35. 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 ispunje 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

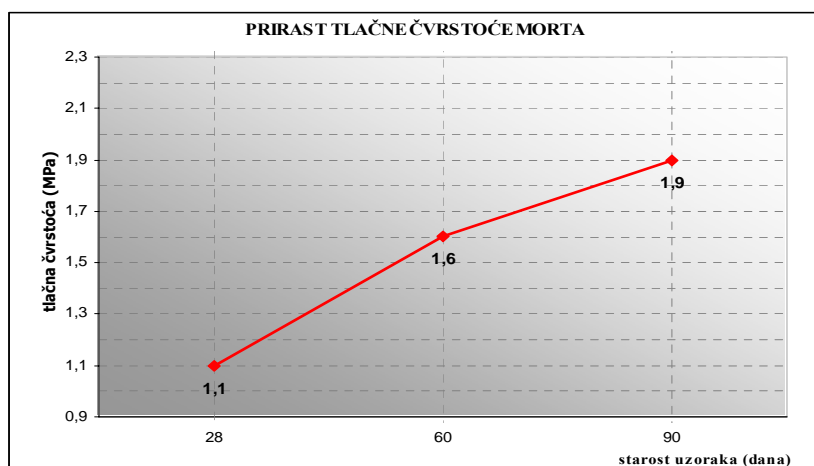
Vrijeme obradljivosti morta ispitivano je prema EN 1015-9. Usvojeno vrijeme ugradnje morta nakon pripreme je max. 2 sata, u kojem vremenskom periodu nema promjene konzistencije odnosno gubitka obradljivosti.

### 2.2.4. Ispitivanje tlačne čvrstoće očvrstlog 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, iz kojeg je vidljiv ujednačen prirast tlačne čvrstoće.



Slike 36.-38. Priprema i njegovanje uzoraka morta za ispitivanje tlačne čvrstoće (lijevo); Ispitivanje savojnih i tlačnih čvrstoća mortova na preši (u sredini), sa detaljom (desno)



Slika 39. Prosječan prirast tlačne čvrstoće mortova za zidanje

**Napomena:** 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 pogoduju bržem sušenju morta, odnosno boljem prirastu čvrstoće i većoj konačnoj čvrstoći morta.

### 2.3. KONTROLNA ISPITIVANJA MORTOVA ZA KALDRMU

Tijekom ugradnje mortova za kaldrmu izvršeno je ispitivanje na 3 uzorka *Dark Red mort* i 2 uzorka *Pink mort*.

Na ugradnji *Dark Red morta* svakodnevno su ispitivane sile prodiranja, te su 3 puta ispitani vlažnost, volumne mase u vlažnom i suhom stanju i uzimane prizmice 4x4x16 cm za kontrolu tlačnih čvrstoća, čije ispitivanje je u tijeku.

Na ugradnji *Pink morta* ispitane su volumne mase, poroznost i uzeti su uzorci prizmica za ispitivanja tlačnih čvrstoća 4x4x16 cm, čije ispitivanja je u tijeku.



Slike 40.-42. Kontrolna ispitivanja *Dark Red morta*