

Primljen / Received: 2.2.2017.

Ispravljen / Corrected: 21.2.2018.

Prihvaćen / Accepted: 13.3.2018.

Dostupno online / Available online: 10.4.2018.

Kamen i mort kod mostova iz razdoblja Osmanskog Carstva u Bosni i Hercegovini

Autori:



Izv.prof.dr.sc. **Naida Ademović**, dipl.ing.građ.
Sveučilište u Sarajevu
Građevinski fakultet
naidadem@yahoo.com



Izv.prof.dr.sc. **Azra Kurtović**, dipl.ing.građ.
Sveučilište u Sarajevu
Građevinski fakultet
azra_kurtovic@gf.unsa.ba

Prethodno priopćenje

Naida Ademović, Azra Kurtović

Kamen i mort kod mostova iz razdoblja Osmanskog Carstva u Bosni i Hercegovini

U radu su prikazani glavni parametri gradnje kamenih mostova te bitni čimbenici pri odabiru novog (zamjenskog) kamena i morta za gradnju. Opisani su rezultati laboratorijskog ispitivanja kamena i morta koji se uobičajeno koriste kod sanacije i rekonstrukcije građevina kulturno-povijesne baštine u Bosni i Hercegovini iz perioda osmanske vladavine. Posebna pažnja je posvećena ispitivanju fizikalnih i mehaničkih karakteristika sedre, travertina i vapnenaca kao osnovnih kamenih materijala koji su korišteni prilikom izgradnje takvih konstrukcija.

Ključne riječi:

kulturno-povijesna baština, mortovi, kamen, hidraulični dodaci, restauracija, laboratorijska ispitivanja

Preliminary report

Naida Ademović, Azra Kurtović

Stone and mortar in bridges from the Ottoman period in Bosnia and Herzegovina

Main parameters for the construction of stone bridges, and major factors for selection of new (replacement) stone and mortar, are presented in the paper. Laboratory test results are given for the stone and mortar normally used in the rehabilitation and reconstruction of cultural and historical heritage structures from the Ottoman period in Bosnia and Herzegovina. A special attention is paid to physical and mechanical characteristics of tufa, travertine and limestone, as basic materials used in the construction of such structures.

Key words:

cultural and historical heritage, mortars, stone, hydraulic additives, restoration, laboratory testing

Vorherige Mitteilung

Naida Ademović, Azra Kurtović

Stein und Mörtel bei Brücken aus der Zeit des Osmanischen Reichs in Bosnien und Herzegowina

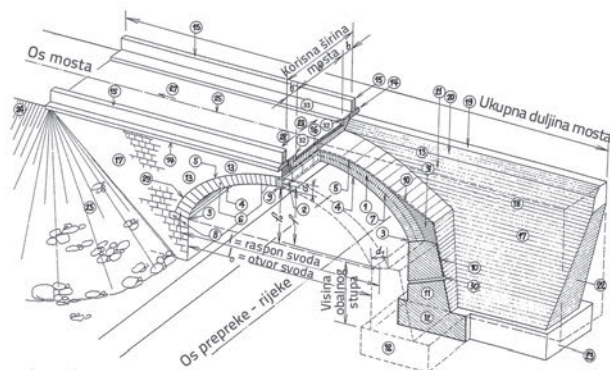
In der Abhandlung sind die Hauptparameter des Baus von Steinbrücken sowie wichtige Faktoren bei der Wahl eines neuen (Ersatz-) Steins und Mörtels für den Bau dargelegt. Beschrieben werden Ergebnisse der Laboruntersuchungen des Steins und Mörtels, die üblicherweise bei der Sanierung und Rekonstruktion von Gebäuden des kulturhistorischen Erbes aus der Zeit des Osmanischen Reichs in Bosnien und Herzegowina verwendet werden. Besondere Aufmerksamkeit wird der Untersuchung der physikalischen und mechanischen Eigenschaften von Tuffstein, Travertin und Kalkstein als grundlegende Steinmaterialien gewidmet, die beim Bau solcher Konstruktionen verwendet wurden.

Schlüsselwörter:

kulturhistorisches Erbe, Mörtel, Stein, hydraulische Zusätze, Restaurierung, Laboruntersuchungen

1. Uvod

Mostovi osim što predstavljaju osnovne elemente infrastrukture jedne države prikazuju ujedno moć i napredak jednog razdoblja. U razdoblju vladavine Osmanskog Carstva na području Bosne i Hercegovine je izgrađeno više drvenih i kamenih mostova. Oni od kamena, kao dugotrajnijeg materijala, ostali su svjedoci osmanske vladavine. Na aksonometrijskom prikazu kamenog mosta s jednim svodom (slika 1.) prikazani su njegovi osnovni elementi.



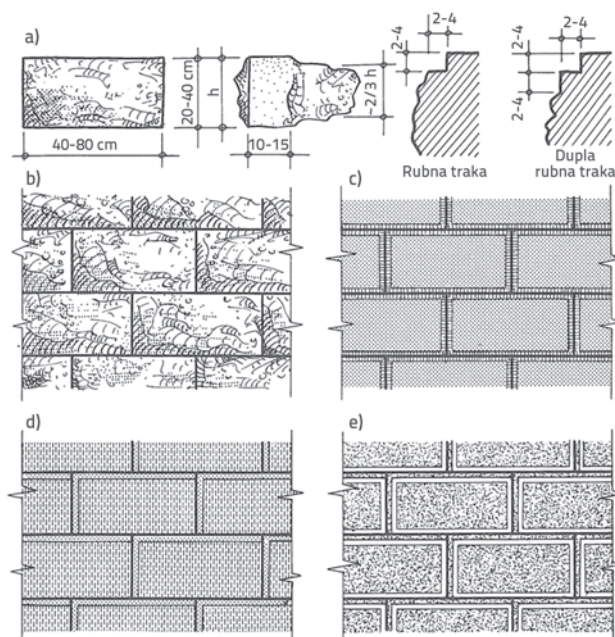
Legenda:

- | | |
|----------------------------|--|
| 1 - konstrukcija svoda | 18 - ispunjena mosta |
| 2 - tjeme svoda | 19 - kruna krilnog zida |
| 3 - peta svoda | 20 - nagib krune krilnog zida |
| 4 - intrados | 21 - naličje |
| 5 - ekstrados | 22 - krilni zid |
| 6 - čelo svoda | 23 - temelj krilnog zida |
| 7 - težišna linija svoda | 24 - nasip |
| 8 - kamen ramenik | 25 - čunji nasipa |
| 9 - kamen završac | 26 - niveleta mosta |
| 10 - izolacija | 27 - uzdužni pad kolničke površine |
| 11 - upornjak | 28 - poprečni pad kolnika od sredine mosta prema pješačkim stazama |
| 12 - temelj upornjaka | 29 - arhivolt svoda (ispad čeonog zida) |
| 13 - čeonni zid | 30 - barbakana - kanal za odvodnjavanje |
| 14 - vijenac mosta | 31 - nadzidak |
| 15 - ograda mosta | 32 - ivičnjak |
| 16 - kolnička konstrukcija | 33 - pješačka staza |

Slika 1. Aksonometrijski izgled kamenog mosta [1]

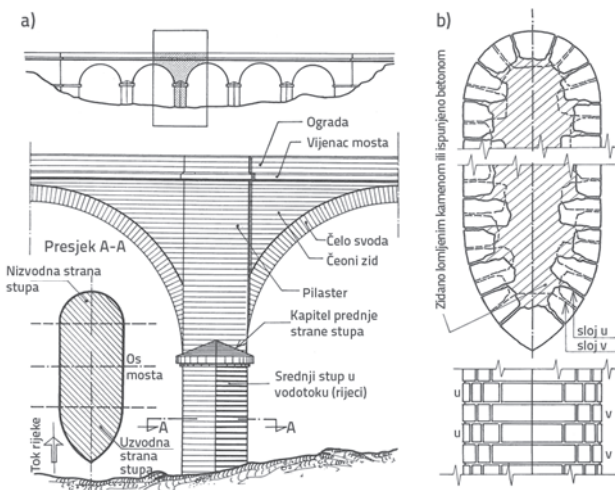
Kada se kamen obrađuje za zidanje, gotovo uvijek je prva radna operacija lomljenje kamena radi dobivanja pogodne forme za klesanje i daljnju obradu. Potpuno klesan i poluklesan kamen se obrađuje u slobodnoj formi od prirodnih blokova ili od već izrezanih pravilnih komada kamena. Komadi kamena i manji monoliti mogu se klesati kao puna bunja (potpuno klesan kamen s ispučenim srednjim dijelom čela) i poluklesan kamen s ravnom čeonom površinom. Karakteristika klesanja je i forma kamenog elementa koji se obrađuje. Obično je paralelopipednog ili prizmatičnog oblika ali i složenih formi. Razina, kvaliteta i sadržaj obrade zavise od alata koji se primjenjuje u postupku klesanja. Dobar majstor kleše kamen na razini majstora kipara [2]. Klesanim kamenom se zidaju građevine kada se posebna pažnja obraća na izgled i stabilnost konstrukcije; kada se zahtijevaju posebni estetski učinci; gdje se očekuju veliki pritisci te pojedini ukrasni elementi – vijenci, ograde, plastični ornamenti i sl. Prilikom zidanja posebno treba paziti na prijevoz i ugrađivanje klesanika kako bi se kamen neoštećen ugradio u konstrukciju.

Slika 2. prikazuje lice zida od poluklesanog i klesanog kamena.



Slika 2. Lice zida od poluklesanog kamena: a) osnovni oblik i detalji rubnih traka kamena; b) lice zida s bunjastom obradom klesanika i bez rubnih traka; c) s rubnim trakama i ravno obrađenim površinama; d) rubne trake izvedene samo gore i lijevo; e) djelomično dvostruke rubne trake [3]

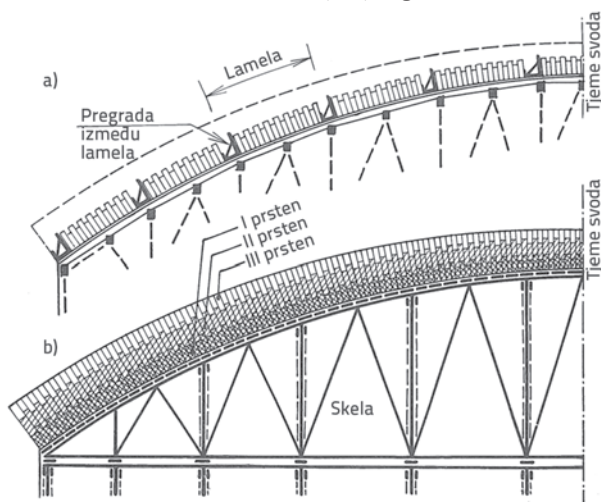
Konstrukcije svodova i stupova mosta mogu se izvesti tako da vidne površine svoda budu ozidane klesanim ili poluklesanim kamenom, a samo tijelo – masa svoda odnosno stuba ozidana lomljenim ili grubo dotjeranim kamenom (obično je dobar pločast lomljeni kamen). U ovom slučaju zida se istovremeno i čelo svoda i dio svoda od lomljenog odnosno dotjeranog kamena (slika 3.).



Slika 3. a) Srednji stup u vodotoku mosta s više otvora; b) slojevi poluklesanog kamena na horizontalnom presjeku riječnog stupa mosta [1]

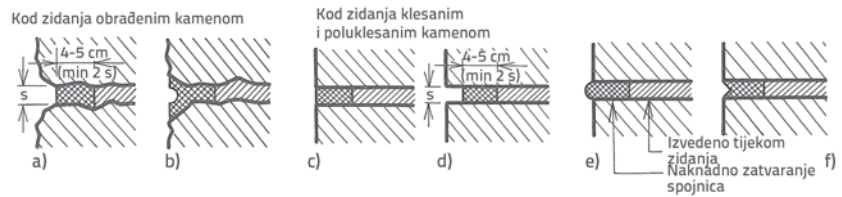
Da ne bi deformacije svoda utjecale na stabilnost i deformacije čeonih zidova, oni se zidaju poslije zidanja i očvršćivanja morta

u spojnicama svoda, poslije skidanja svodne skele i poslije slijeganja svoda. Kako konstrukcija čeonih zidova direktno opterećuje svod, gradi se, ako je moguće, od volumenski lakšeg kamena. U kompoziciji općeg izgleda kamenog mosta izgled čeonih zidova ima značajan utjecaj. Kako bi se istaknuli čeonni zidovi kod nekih mostova, kao na primjer kod mosta Šeher-čehajina ćuprija u Sarajevu, korištene su različite vrste vapnenaca. U najvećem broju slučajeva čeonni zidovi predstavljaju zid koji je monolitno povezan s koherentnom ispunom mosta. Kad su veći rasponi, radi simetričnog i ravnomjernog opterećivanja svodne skele, svod se može zidati u lamelama ili u prstenima (slika 4.). Redoslijed zidanja lamela treba omogućiti ravnomjerno i jasno definirano prenošenje opterećenja na svodnu skelu. Kod svoda u prstenima za razliku od lamela, ne zida se po svojoj cijeloj debljini nego se zasvođuje u prstenima (svaki prsten se zida u lamelama). Kada se završi jedan prsten, koji može preuzeti opterećenje skele i drugog prstena, počinje svođenje drugog prstena na identičan način, i tako dok se ne završi zidanje cijelog svoda.



Slika 4. Zidanje svoda: a) u lamelama; b) u prstenima [3]

Osnovna mehanička karakteristika kamena kao materijala kad je riječ o nosivosti jest čvrstoća na tlak koja ima značajna odstupanja za istu petrološku vrstu stijene. No, bitna je i čvrstoća na vlak, koja je dvadesetak puta manja od čvrstoće na tlak, kao i čvrstoća na savijanje koja je desetak puta manja od čvrstoće na tlak. Poznato je da je naponsko stanje zidanih konstrukcija vrlo složeno i da se danas obraća iznimna pozornost na proračun takvih konstrukcija. Nosivost elemenata takvih konstrukcija zavisi od pojedinačnih karakteristika kamena i morta i od njihove veze ostvarene na kontaktu kamen-mort. No, mora se istaknuti da je od presudne važnosti kvaliteta morta, jer on predstavlja najslabije mjesto u takvim konstrukcijama. Obrada spojnica (slika 5.) između kamenih blokova bitno utječe na izgled i stabilnost elementa zidanog kamenom. Što je kamen



Slika 5. Obrada vidnih dijelova spojnica: a) uvučeno; b) ravno s fugiranjem; c) ravno; d) uvučeno; e) izbočeno; f) uvučeno i profilirano (ili fugirano) [2]

za zidanje bolje obraden, to je moguće izvesti tanje spojnice i obrnuto. Prema debljini spojnice bira se i određuje krupnoća pijeska za mort. Zatvaranje spojnica se izvodi kvalitetnim mortom na dužini koja je jednaka dvostrukoj debljini spojnice (obično 4-5 cm) [3].

Mortovi upotrebljavani u osmanskome periodu bili su vapneni mortovi koji su zahvaljujući određenim dodacima u obliku crvenice, drobljene i tucane opeke i različitih organskih primjesa imali relativno dobre čvrstoće, čak i do 30 N/mm². Prianjanje morta za kamenu površinu osobito je važno za ostvarivanje dobre veze i adekvatnog prijenosa opterećenja. Što je površina hrapavija i kamen porozniji, to je i prianjanje veće.

Određivanje karakteristika povijesnog vapnenog morta postalo je značajno pitanje u drugoj polovini 20. stoljeća. O tome su opširno pisali Hansena i suradnici [4], pa su ti podaci vrijedan bibliografski izvor za konzervatore i znanstvenike koji se bave ovim područjem. Međutim, još je ostalo nejasno potječe li hidrauličnost povijesnog vapnenog morta od mješavine pucolana s vapnom ili upotrebom hidrauličnog vapna. Ispitivanja koja su provedena na konstrukcijama osmanskih kupališta [5] utvrdila su da je proizvodnja kalcijevog silikata pri relativno niskim temperaturama kalcinacije (850 °C) moguća. Na temelju toga se može zaključiti da se i u to vrijeme (15. stoljeće) primjenjivalo hidraulično vapno i da su pri tome dobivene značajne čvrstoće morta na pritisak [5].

2. Geološka građa Bosne i Hercegovine

Bosna i Hercegovina je podijeljena u tri zone Dinarida: vanjski Dinaridi (br. 1), centralni Dinaridi (br. 2) i unutrašnji Dinaridi (br. 3) kao što je prikazano na slici 6. Slika 7. prikazuje geološku kartu Bosne i Hercegovine. Vapnenjačke stijene ili vapnenjaci su najrasprostranjeniji agregati kalcita. Od kalcita su u Bosni i Hercegovini izgrađeni vapnenjaci krša koji se prostiru tisućama kilometara i različite su geološke starosti: paleozoik, mezozoik, kenozoik. Kalcita ima mjestimično u vlaseničkim i hercegovačkim boksitima. U paleozoološkim predjelima Bosne i Hercegovine kalcit je bitan, a mjestimično i jedini sastojak kristalnih vapnenaca, mramora i vapnenjačkih filita. Naslage paleozoika predstavljene su pretežno klastičnim, a manje karbonatnim tvorevinama koje su u pojedinim mjestima promijenile oblik. Naslaga paleozoika uglavnom ima u unsko-sanskom području, srednje bosanskim škriljavim planinama, istočnoj i jugoistočnoj Bosni te Posari i Motajici. Srednjobosanski paleozojski kompleks se proteže od

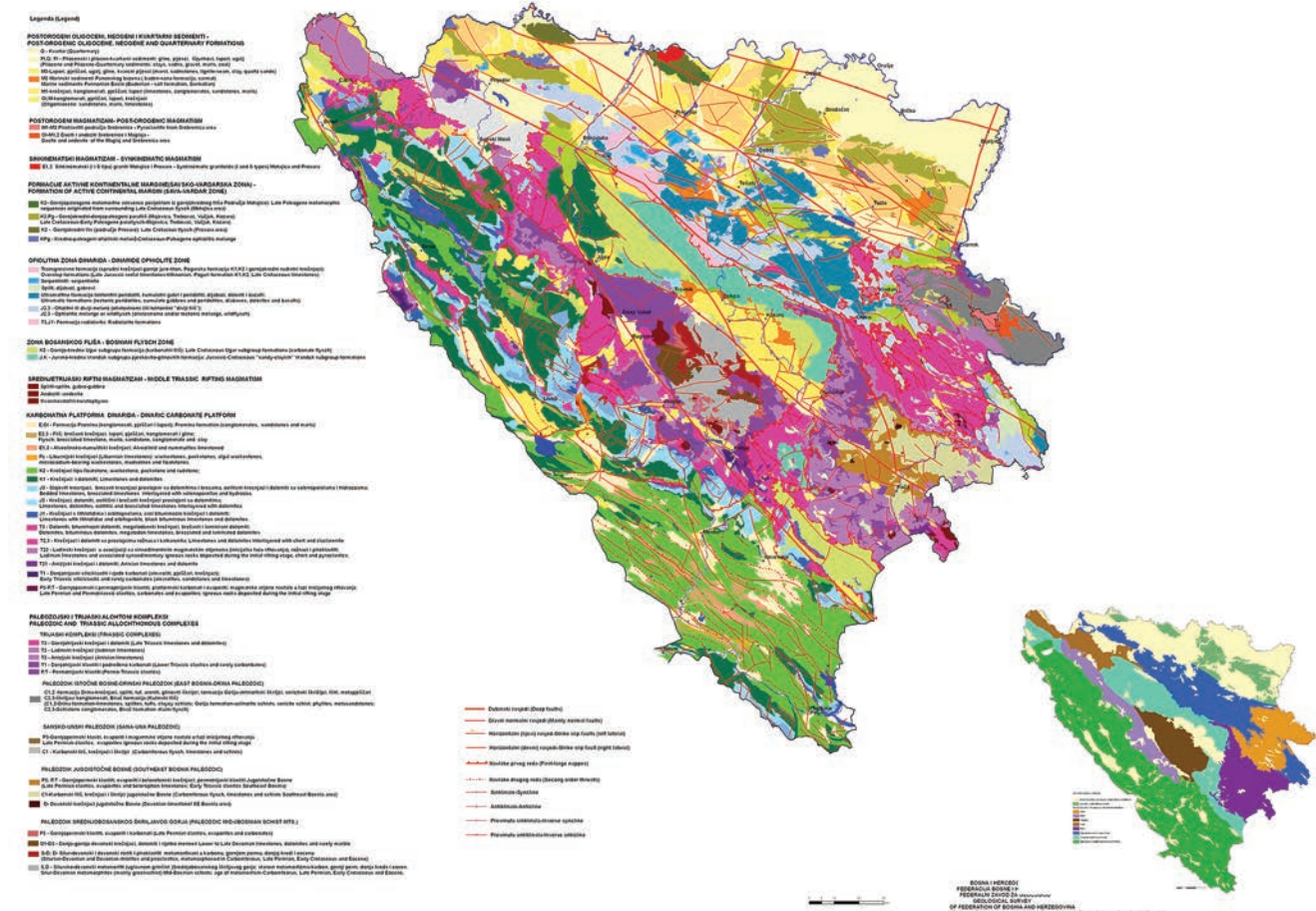
Ivan-Sedla na jugoistoku do Jajca na sjeverozapadu, te između sarajevsko-zeničkog bazena na sjeveroistoku do gornjovrbaskog uskopljanskog bazena na jugozapadu. Paleozoik na prostoru jugoistočne Bosne je tzv. pračanski paleozoik koji se proteže istočno i sjeveroistočno od Jahorine i Drine.



Slika 6. Geotektonska podjela Dinarida u BiH [6]

U pračanskom paleozoiku zastupljene su uglavnom vapnenjačke stijene iz devona i karbona. Sjeveroistočno od pračanskog paleozoika je drinski paleozoik koji se pruža od Srebrenice do Zvornika. Paleozojske naslage razvijene su u okolini Ključa i Sanskog Mosta. Ovo područje se naziva unsko-sanski paleozoik. U unsko-sanskom paleozoiku karbon čine različiti klastiti u kojima ima i magmatskih stijena, a nešto dolomita i vapnenaca (slika 7.). Za kalcit se u Bosni i Hercegovini s pravom može reći da je sveprisutan mineral, koji nastaje u sve tri geološke sredine: sedimentne, magmatske i metamorfne.

Najveće područje u Bosni i Hercegovini izrađuju vapnenjaci mezozojske i kenozojske starosti osobito u tzv. vanjskom dinarskom pojasu (slika 6.). Mezozojski vapnenjaci pripadaju trijasu, juri i kredi, a debljina im iznosi više stotina metara. Mezozojske naslage široko su rasprostranjene u unutrašnjim, središnjim i vanjskim Dinaridima. Mezozojske naslage u vanjskim Dinaridima su predstavljene klasičnim karbonatnim naslagama, a središnji i unutrašnji Dinaridi imaju vulkansko-sedimentne i flišne naslage (slika 7.). Tercijalni vapnenjaci su pretežno iz perioda paleogena, a iz perioda neogena prisutni su na ograničenim područjima. Naslage jure zauzimaju najveći dio u vanjskom dinarskom pojasu, gdje je uglavnom razvijen u vapnenjačko-dolomitnom facijasu [8].



Slika 7. Geološka karta Bosne i Hercegovine [7]

3. Kamen upotrebljen u gradnji mostova – sedra, travertin i vapnenjak

U zidanim konstrukcijama osmanskog perioda kao osnovni materijali za gradnju upotrebljavali su se kamen i mort. Kamen koji se upotrebljava za zidanje i oblaganje kulturno-povijesne baštine pripada kategoriji arhitektonsko-građevinog kamena. Zidani elementi mostova osmanskog perioda su rađeni od fino obrađenog, klesanog (tesanog) kamena, a lomljeni je kamen upotrebljavan u ispuni većih presjeka. Lomljeni kamen je materijal nepravilnog oblika dobiven iz stijenske mase. Sedimentne stijene (travertin, sedra, pješčar, vapnenjaci) uslijed anizotropije stijenske mase, nemaju zakonitost kada je u pitanju oblik i zastupljenost određene krupnoće lomljenog kamena. Osnovne dvije vrste upotrebljavanoga kamena jesu sedra i vapnenjak koji pripadaju sedimentnim stijenama. Iz ove perspektive kada pogledamo lokacije mostova može se s velikom vjerojatnošću pretpostaviti da su nalazišta tih materijala uzrokovala mikrolokaciju mostova iz osmanskog perioda (zašto je Drina premošćena baš u Višegradu, zašto je Neretva u Mostaru i Konjicu u XVI. i XVII. stoljeću?). No, postavlja se pitanje zašto baš sedra, tenelija, pješčar i vapnenjak. U sljedećim poglavljima pokušat će se dati odgovor na to pitanje.

3.1. Sedra

Glavni razlog odabira sedre kao građevnog materijala u osmanskome periodu jest njena lakoća obrade i relativno mala prividna gustoća. Poznato je da sve dok sadrži prirodnu vlažnost može se lako obrađivati običnom pilom. Gubljenjem vlage dobiva na tvrdoći, što je posljedica izlučivanja kalcijevog karbonata iz kalcijeva bikarbonata sadržanog u vlazi. Na mnogim starim građevinama sedra se kroz više stotina godina izvanredno održala, ali su poznati i slučajevi njenog raspada pod djelovanjem atmosferilija [9].

Sedra je kamen, kalcijev karbonat po kemijskom sastavu koji nastaje izlučivanjem iz hladnih voda bogatih kalcijevim bikarbonatom na vodenom bilju i travi, složenim nizom povezanih reakcija i procesa koje pojednostavljeno zovemo izlučivanje (prijelaz iz otopine u čvrstu fazu, bilo kristalne ili amorfne) [10, 11]. Nepravilne i cjevaste šupljine velikog promjera, nastale kao proizvod kasnijeg izumiranja vegetacije, daju sedri specifičan šupljikavo spužvast izgled, malu gustoću i izrazito veliku poroznost. Sedra obično ima svjetlosmeđu, malo žučkastu boju i čvrstu kompaktnu građu. Tekstura stijene je masivna šupljikava, a struktura sitno kristalna, djelomično i oolitična.

Interesantno je da postoji izrazita kontradiktornost vezana za količinu sedre u bosanokohercegovačkim nalazištima. Tako u [8] se navodi da postoje relativno velike količine kalcitnih stijena u obliku sedre ili travertina koje se nalaze uz korita rijeka ili u njihovim slapovima (Pliva, Una, Trebižat, Drina, Neretva i dr), dok se u [12] navodi da se radi o malim količinama, pa čak u smislu rijetkih pojava malih naslaga na pojedinim rijekama ili kao značajni dijelovi na površinskim kopovima vapnenaca (Prusac-

Donji Vakuf, Sedra kod Cazina). Sedra je kamen koji se oddavnina upotrebljava za građenje zidanih elemenata mostova.

3.2. Travertin (sedrasti vapnenac)

U Bosni i Hercegovini nalaze se značajne količine travertina u ležištu Divčane kod Jajca, na tržištu poznat kao Plivit Jajce koji se koristio za gradnju građevina osmanskog perioda. Za razliku od poznate jezerske sedre na lokalitetu Jajca, travertin Plivit – Jajce odlikuje se umjerenom šupljikavošću i trakastoslojevitom građom. Travertini su umjerenom čvrste stijene koje se mogu veoma dobro obrađivati, a nastali su neorganskim izlučivanjem kalcita iz vrućih voda termalnih izvora.

Naziv travertin je izveden od *Lapis tiburtinus* ili kamen iz Tibura (antički naziv za današnji Tivoli) kako su ga zvali stari Rimljani [9]. Zbog trakaste građe, travertin može imati različiti izgled ovisno o smjeru rezanja: rezanjem kontra, dobiva se trakasta građa, a rezanjem paralelno gubi se trakasta građa i dobiva neujednačena šupljikavost i specifična šara prstenastog oblika. Gubljenjem prirodne vlažnosti raste čvrstoća i tvrdoća.

3.3. Vapnenac

Za obalne zidove, kaldrmu mosta kao i za donje dijelove konstrukcije do visine dokle može voda doprijeti tijekom viših vodostaja upotrebljava se vapnenac. Vapnenci predstavljaju vrlo značajan prirodni građevni materijal. Relativno se lako obrađuju (klesani vapnenac, rezani komadi, ploče) i ugrađuju u raznovrsne građevinske objekte, spomenike i dr. [8].

4. Odabir kamena pri obnovi starih građevina

Vrlo je malo starih građevina s arhivskim zapisima o nalazištu ugrađenog kamena, a ako postoje, to je najčešće kod mostovskih konstrukcija koje su se u periodu Osmanskog Carstva gradile, mada vrlo rijetko ali za to vrijeme, s izuzetno velikim količinama kamena. Uobičajeno je bilo da se radi specifičnosti građevine poseban značaj da odabiru petrografske vrste kamena i mogućnosti odabira lokalnog nalazišta (tenelija iz Mukoške kod Mostara i vapnenac vjerojatno Opine Mostar - Stari most u Mostaru, sedra Višegradska banja i vapnenac vjerojatno Klačnik - Stari most u Višegradu i dr.).

Vrlo često nakon što se dobije zapis o nalazištu kamena konstatira se da je nalazište zapušteno, obraslo vegetacijom te da nije otvoreno eksploatacijsko polje. Međutim s obzirom na to da u većini slučajeva nema pisanih podataka o porijeklu i nalazištu ugrađenog kamena, potrebno je provesti poseban postupak za identifikaciju i izbor novog (zamjenskog) kamena koji bi trebao odgovarati izvornom postojećem kamenu koji je ugrađen u građevinu. Specifičnost problema restauracije, sanacije, rekonstrukcije i konzervacije zidanih kamenih elemenata nije samo identifikacija petrografske vrste i utvrđivanje svojstava kamena nego i pronalaženje nalazišta iz kojeg je kamen izvađen. Mnogo puta pri restauracijama i rekonstrukcijama građevina

kulturne baštine u Bosni i Hercegovini, području bogate prošlosti, nailazilo se na nepremostive prepreke u pronalaženju identificiranih pojedinih vrsta kamena (npr. obnova Gradske vijećnice u Sarajevu, izgradnja Ferhadija džamije u Banja Luci, konzervacija i restauracija fasade Centralne banke u Sarajevu, obnova Latinske ćuprije u Sarajevu i mnogi drugi). Razlog je obično taj što su se trajne, kamenom zidane građevine sakralne namjene (katedrale, samostanske crkve, džamije) i svjetovne građevine (kule, utvrde, dvorci i stambene zgrade) gradile dugo s posebnim odabranim vrstama materijala. Nije bilo čudno da su za tako značajne građevine priloge u dijelovima ili u cijelim kamenim elementima darovali dobri ljudi iz udaljenih krajeva, te su se kameni konjskim zapregama, tada jedinim načinom, prevozili mjesecima do odredišta. Nažalost zapisi o darovateljima nisu za većinu građevina sačuvani.

Iz dosadašnjeg razmatranja u stručnoj literaturi zapaža se da je u najvećem broju slučajeva za mostove u osmanskome periodu u Bosni i Hercegovini rađen izbor izrazito poroznog kamena male mase (sedra, travertin, pješčari) i kompaktnog malo poroznog vapnenaca s lokaliteta u bližoj i široj okolini građevine.

Pri identifikaciji ugrađenog kamena i izbora novog (zamjenskog) kamena, bez obzira na to postoje li ili ne postoje pisani zapisi, nužno je provesti terenska i laboratorijska ispitivanja kamena. Terenskim i laboratorijskim ispitivanjima uspoređuju se svojstva predviđenog i postojećeg kamena u pogledu mineraloško-petrografske analize (makroskopska i mikroskopska analiza kojom se definira mineralni sastav, struktura, tekstura, ispućanost, glavne i štetne komponente netopljivi ostatak u karbonatnim stijenkama), kemijska analiza (kvantitativna i kvalitativna analiza), prividna i stvarna gustoća, ukupna i otvorena poroznost, veličina upijanja vode, čvrstoća na pritisak i čvrstoća na zatezanje pri savijanju, otpornost na utjecaj atmosferilija (ujedno i pokazatelj ponašanja pri djelovanju mraza), otpornost na habanje. Po potrebi, osim ovih provode se naročita ispitivanja i određuju se specifični parametri primjenom nerazornih kao i malo razornih metoda. Razorne se metode kod kulturno-povijesnih građevina ne smiju primijeniti jer bi se na taj način nepovratno oskvnuo kulturno-povijesni spomenik. Vjerujemo da se prikladnim nerazornim i malo razornim metodama mogu dobiti svi potrebni podaci za uspješnu sanaciju građevina posebne vrijednosti.

Na primjer, za most Mehmed-paše Sokolovića u Višegradu oddavnina se govorilo da je izgrađen od dobre višegradske sedre. Prema dostupnim arhivskim zapisima, za gradnju mosta upotrebljen je kamen iz nalazišta u neposrednoj blizini mosta, Višegradska banja "Vilina Vlas", gdje se već dulji niz godina ne provodi eksploatacija. Kamen koji je korišten pri rekonstrukciji mosta u Konjicu i mosta u Sarajevu (Šeher Ćehajina Ćuprija) potječe iz nalazišta sedre u Pruscu, Donji Vakuf, jer je to zasad najveće i najbolje kontrolirano nalazište sedre u Bosni i Hercegovini.

Pri izboru zamjenskog kamena za restauraciju kulturno-povijesnih građevina i općenito pri ispitivanju prirodnog kamena, veliku ulogu ima pravilno i prikladno uzimanje uzorka te formiranje reprezentativnog uzorka.

Odabrati reprezentativne uzorake prirodnog kamena vrlo je zahtjevno i svakako trebaju to obavljati stručnjaci s dokazanim tehničkim kompetencijama iz područja metodologije odabira uzoraka i ispitivanja svojstava prirodnog kamena.

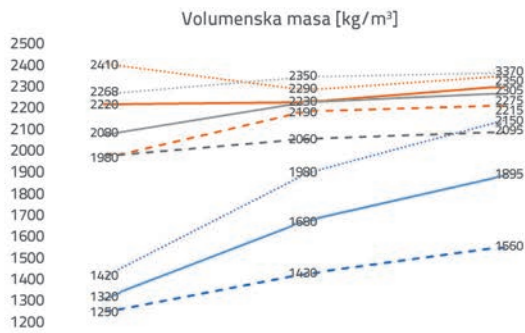
Treba istaknuti kako je vizualni pregled i izbor reprezentativnih uzoraka vrlo otežan i kad je posrijedi kamen velike i ekstremne poroznosti s otvorenim šupljinama, kao što su sedrasti vapnenci i sedre, zbog vizualno izražene neujednačene zastupljenosti šupljina, njihove zapunjenosti i povezanosti.

4.1. Fizikalne i mehaničke karakteristike sedre i travertina

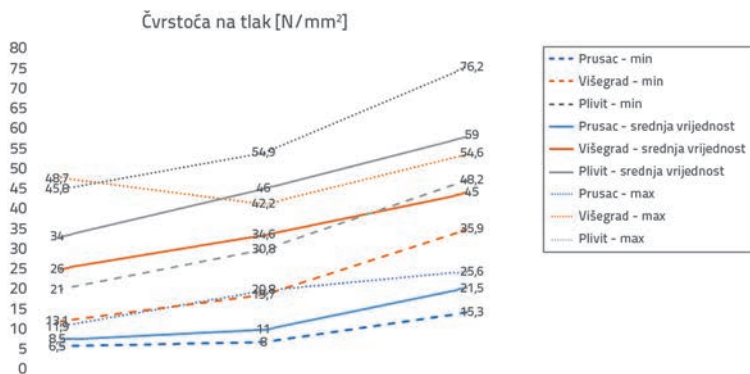
Prilikom uzorkovanja na otvorenom ležištu predviđenog kamena nisu korišteni blokovi, niti monoliti, koji su intenzivno mehanički oštećeni, tj. sa vidljivim prslinama, pukotinama i šupljinama. Na odabranim uzorcima vodilo se računa o slojevitosti građe kamena, tj. točno je naznačena ležišna odnosno slojna površina i označena je orijentacija uzorka prema položaju u stijenskoj masi ležišta. To je napravljeno s ciljem da se prilikom ispitivanja točno definira smjer pružanja slojeva građe. Prilikom pripreme uzorka kamena strogo se vodilo računa o reprezentativnosti pojedinačnih uzoraka u pogledu homogenosti sastava, strukture i teksture koji su uzeti na različitim mjestima u obliku grubo obrađenog pravokutnog i kvadratnog paralelopipeda sa duljinom ruba otprilike 40 cm radi formiranja uzorka za ispitivanje čvrstoće na zatezanje pri savijanju. Prilikom formiranja reprezentativnog uzorka za ispitivanje, od izuzetne je važnosti bilo vizualno zapažanje, stručno iskustvo i detaljan pregled kamenoloma. S obzirom na specifičnost sedraste, šupljikave i trakaste građe, bilo je nužno oblikovati velik uzorak na kamenolomu i pokušati pripremiti uzorke za sve zastupljene makroskopski različite teksture prirodnog kamena (barem 80 % stijenske mase). Nakon toga formiran je stručnim odabirom laboratorijski uzorak i provedena su odgovarajuća ispitivanja. Metode laboratorijskih ispitivanja koje su provedene na Institutu za materijale i konstrukcije, Građevinskog fakulteta u Sarajevu tijekom zadnjih pet godina iz dostupnih nalazišta, a koje su se potom primjenjivale prilikom rekonstrukcije građevina iz osmanskog vremena, prikazane su u tablici 1. Rezultati ispitivanja dati su na slikama 8. i 9.

Tablica 1. Metode ispitivanja fizikalnih i mehaničkih karakteristika sedre i travertina

Redni broj	Vrsta ispitivanja	Norma	Dimenzije uzoraka za ispitivanje [mm]
1	Volumna masa (prividna gustoća)	BAS EN 1936:2009 (EN 1936:2006, IDT)	50 x 50 x 50
2	Otvorena poroznost	BAS EN 1936:2009 (EN 1936:2006, IDT)	50 x 50 x 50
3	Čvrstoća na tlak	BAS EN 1926:2009 (EN 1926:2006, IDT)	50 x 50 x 50
4	Čvrstoća na savijanje uslijed koncentrirane sile	BAS EN 12372:2009 (EN 12372:2006, IDT)	50 x 50 x 300



Slika 8. Fizikalne karakteristike sedre i travertina (Plivit)



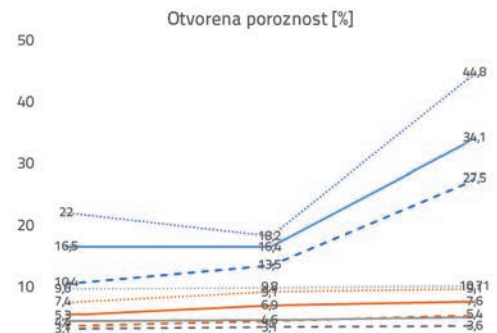
Slika 9. Mehaničke karakteristike sedre i travertina (Plivit)

Na slici 8. prikazane su osnovne fizikalne karakteristike, a na slici 9. osnovne mehaničke karakteristike sedre i travertina (Plivit) kao građevnog materijala koji je korišten prilikom sanacije mostova iz osmanskog perioda u Bosni i Hercegovini.

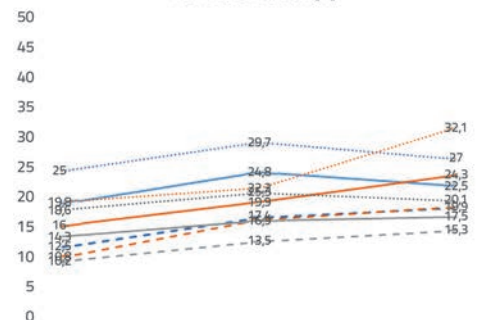
Iz slike 8. može se uočiti da sedra iz nalazišta Prusac ima značajno manju volumnu masu i izražajniju poroznost, srednje vrijednosti 34,1 %, a kod druga dva kamena poroznost je oko 8 % (nalazišta u Višegradu i Jajcu). Očite su značajne čvrstoće na tlak (slika 9.) kod travertina Plivita iz Jajca čija srednja vrijednost iznosi 59 N/mm², dok je čvrstoća na pritisak iz nalazišta Višegrad manja za 23,7 % a iz nalazišta Prusac za čak 63,6 %.

Neke petrografske vrste kamena, zavisno od karakteristika njihovog mineralnog sastava i strukture, pokazuju dosta širok raspon čvrstoće na tlak i može se klasificirati u više kategorija čvrstoće. Tako sedra i travertin mogu imati vrlo niske (ispod 10 N/mm², a često i ispod 5 N/mm²) i niske (10-50 N/mm²) čvrstoće, a vapnenici vrlo visoke (preko 250 N/mm²) ali i niske čvrstoće na tlak.

Stoga, petrografska klasifikacija nekog kamena nije pokazatelj njegove čvrstoće. Ona se uvijek mora utvrditi ispitivanjem [9]. Treba naglasiti kako su dobiveni laboratorijski rezultati ispitivanja potvrdili da je kod sedre i travertina omjer čvrstoća na savijanje uslijed koncentrirane sile i čvrstoće na tlak (od 14,3 % do 24,3 %) veći nego kod ostalih petrografskih vrsta. U najvećem broju slučajeva čvrstoća na savijanje uslijed koncentrirane sile kod prirodnog kamena varira od 7 do 20 % čvrstoće na tlak istog kamena.



Omjer čvrstoće na savijanje uslijed koncentrirane sile i čvrstoće na tlak [%]

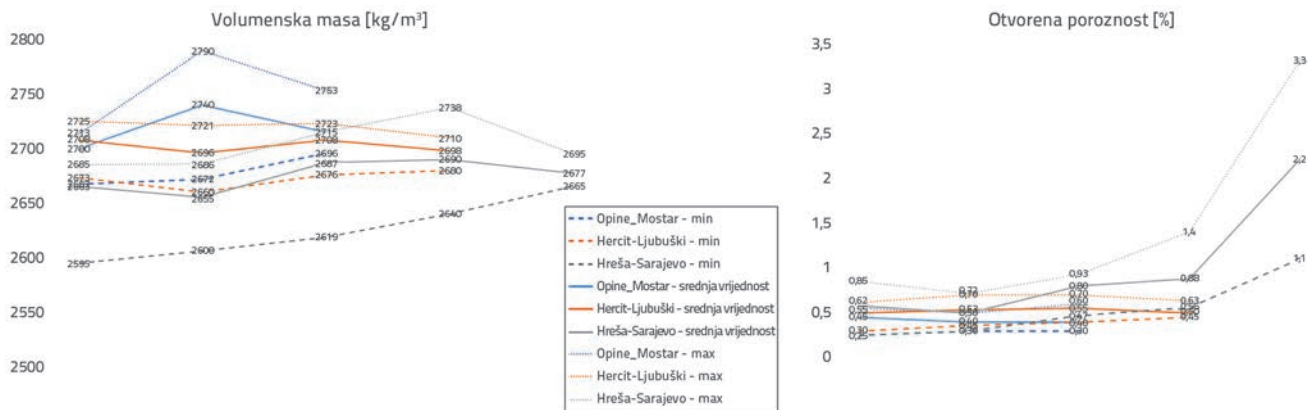


4.2. Fizikalne i mehaničke karakteristike vapnenaca

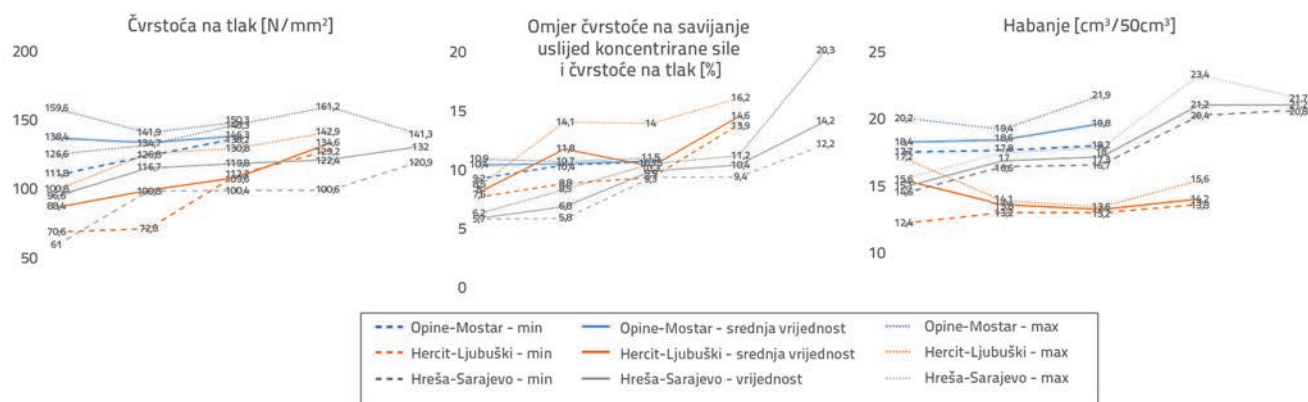
Priprema uzoraka vapnenaca izvedena je u skladu s prethodno opisanim načelima za odabir uzoraka, ali vodeći računa da su se u kamenolomu izbjegavala mjesta (blokovi i monoliti) koja su bila u neposrednoj blizini mjesta eksploatacije pri razbijanju, odnosno utjecaju vibracija uslijed mehaničkog udara. Tablica 2. prikazuje metode ispitivanja koje su primjenjivane pri ispitivanju fizikalnih i mehaničkih karakteristika vapnenaca.

Tablica 2. Metode ispitivanja fizikalnih i mehaničkih karakteristika vapnenaca

Redni broj	Vrsta ispitivanja	Norma	Dimenzije uzoraka za ispitivanje [mm]
1	Volumna masa (prividna gustoća)	BAS EN 1936:2009 (EN 1936:2006, IDT)	50 x 50 x 50
2	Otvorena poroznost	BAS EN 1936:2009 (EN 1936:2006, IDT)	50 x 50 x 50
3	Čvrstoća na pritisak	BAS EN 1926:2009 (EN 1926:2006, IDT)	50 x 50 x 50
4	Čvrstoća na savijanje uslijed koncentrirane sile	BAS EN 12372:2009 (EN 12372:2006, IDT)	50 x 50 x 300
5	Habanje-brušenjem, metoda B (Bemeova mašina)	BAS EN 14157:2009 (EN 14157:2004, IDT)	71 x 71 x 71



Slika 10. Fizikalna karakteristike vapnenaca



Slika 11. Mehaničke karakteristike vapnenaca

Na slici 10. prikazane su osnovne fizikalne, a na slici 11. osnovne mehaničke karakteristike vapnenaca kao građevnog materijala koji je upotrijebljen prilikom sanacije mostova. Iz slike 10. očito je da je volumna masa vapnenaca kao materijala dosta ujednačena i da je srednja vrijednost od 2655 kg/m³ do 2740 kg/m³. Otvorena poroznost je prilično ujednačena i može biti od 0,4 % do 0,8 %, izuzev rezultata koji je upozorio na slabu otpornost ispitnog kamena vapnenaca u pogledu djelovanja na mraz (srednja vrijednost 2,2 %).

Očekivano, čvrstoća na tlak vapnenaca u odnosu na sedru i travertin je značajno veća i dostiže srednju vrijednost od 140,2 N/mm². Uočava se da je omjer čvrstoće na savijanje uslijed koncentrirane sile i čvrstoće na tlak i kod vapnenaca niži u odnosu na sedru i travertin (slika 9. i slika 11.).

Vrijednost otpornosti na habanje označava otpornost koju kamen pruža prema abraziji struganjem. Prema ispitanim uzorcima sve vrste kamena se mogu svrstati u tvrdi (10-20 cm³/50 cm²) i umjereno tvrdi (20-30 cm³/50 cm²) kamen.

5. Odabir morta pri obnovi starih građevina

Druga komponenta koja je važna pri obnovi kulturno-povijesnih građevina, možemo reći i iznimno važna, jest mort. Prikladan odabir veziva, to jest morta ključni je faktor za uspješno

obavljenu restauraciju postojeće konstrukcije. Mort je vezivni materijal koji nastaje miješanjem osnovnog veziva (kao što su vapno ili cement), vode i agregata/pijeska. Međunarodna tijela, poput ICOMOS ili ICCRORM, daju jasne preporuke u kojima se navodi da je neophodno da se prilikom restauratorskih radova primjenjuju materijali sličnih karakteristika i sastava kao originalni materijali [8, 9]. Kao što je već navedeno Hansen je obuhvatio bibliografiju koja je osnova restauratorima i konzervatorima tijekom primjene morta. Kompatibilnost mora biti zadovoljena u nekoliko aspekata:

- kemijska kompatibilnost između morta koji će se koristiti i postojećih materijala, kako zidnih elemenata tako i postojećeg morta
- kompatibilnost u fizikalnom smislu, posebna pažnja se treba obratiti na procese topljivosti i transport vode
- kompatibilnost u strukturnom i mehaničkom kontekstu: čvrstoće morta koji će se primjenjivati pri restauraciji trebaju biti slične s postojećim mortom.

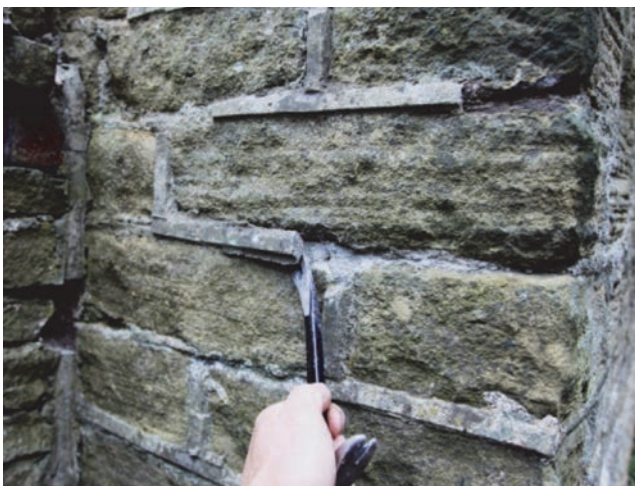
Također, prema [13] mortovi koji se koriste za restauraciju moraju zadovoljiti i sljedeće kriterije:

- mort ne smije imati veću čvrstoću u odnosu na kamen ili opeku
- apsorpcija vode i propusnost vodene pare morta mora biti istog reda veličine ili veća od ostalih elemenata zida, kako bi

došlo do akumulacije vode (i soli) u mortu tako da on može djelovati kao materijal koji će se "žrtvovati"

- mort mora imati minimalno skupljanje kako bi se spriječila pojava pukotina
- mort treba ostvariti dobru vezu s opekom ili kamenom, što se očituje njegovom velikom plastičnošću i obradivošću.

Od pronalaska portland cementa, sredinom 19. stoljeća, primjena je hidrauličnog vapna u mortu za spojnice smanjena i zamijenjena je mortom na bazi cementa, pa čak i kod obnove građevina. To se pokazalo ne samo kao neadekvatno nego i štetno [14] zbog nezadovoljavanja gore navedenih uvjeta kompatibilnosti [13, 15]. Budući da su mortovi na bazi cementa krvi materijali visoke čvrstoće na tlak, oni mogu prouzročiti visoka lokalna naprezanja koja mogu dovesti do ozbiljnih oštećenja u postojećim elementima konstrukcije kao što su kamen, opeka ili pak postojeći mort. Nadalje, toplinsko širenje morta na bazi cementa značajno je veće, može biti čak i dva puta veće u odnosu na vapneni mort, što može ubrzati propadanje morta na bazi vapna. To može dovesti do ozbiljnih problema uzrokovanih ponovnom kristalizacijom topivih soli [16]. Poznato je da su mortovi na bazi cementa manje propusni u odnosu na mortove na bazi vapna; značajna prisutnost malih pora koje zadržavaju vlagu priječe isparavanje vlage iz kamenog elementa. U tom slučaju isparavanje se osigurava preko postojećeg poroznog materijala. To uzrokuje pojavu kristalizacije topivih soli u originalnim materijalima konstrukcije što dovodi do ozbiljnih problema propadanja [16, 17]. S druge strane, nedostatak alkala i sulfata u vapnu sprječava oštećenja zbog soli uslijed formiranja štetnih karbonata i sulfata Na/Ca ili Mg, kao što se može vidjeti nakon primjene portland cementa [18, 19] (slika 12.). Kristalizacija takvih soli uzrokuje značajna oštećenja kako u novim tako i u starim konstrukcijama. S druge strane, postoji mala mogućnost pojave iscvjetavanja kod vapnenog morta uslijed njegove kemijske čistoće [20].



Slika 12. Odvajanje fuge od cementnog morta na starom objektu [21]

Bez sumnje, jedna od najvažnijih pitanja u obnovi i sanaciji kulturne baštine jest izbor optimalnog tipa i sastava morta. Za

vapneni mort postupak je jednostavan: 1/4 vapna i 3/4 pijeska pomiješaju se vodom i nastaje mort. Zidar uzima zidarsku lopaticu, zahvaća masu i nabacuje je na okomiti zid. Masa se za zid uhvati, veže se i potpuno stvrdnjava. Takav mort može izdržati više stotina godina. Sastojci su jednostavni, postupak uobičajen, a ipak je preobrazba jednostavnih sirovina u čvrst i trajan građevni materijal zapanjujuća. Međutim, dosadašnja primjena vapnenih mortova je pokazala njihovu neotpornost na utjecaj atmosferilija, stoga se tijekom dugogodišnje primjene postupeno povećavala hidrauličnost vapnenog morta.

Sadašnje su spoznaje dobivene istraživanjem brojne i stručnjaci se slažu da povećanje čvrstoće morta nakon 28 dana, a posebno nakon 6 mjeseci treba biti što je moguće manje. Na taj način, formiran je kriterij za pravilan odabir prihvatljivog sastava morta. Međutim, postavlja se pitanje prikladnog odabira uzoraka morta iz konstrukcija koje su sagrađene primjerica u 18. stoljeću i je li to originalni mort, ili pripada jednom od prethodnih restauratorskih radova.

Uzimanje uzorka izvornog morta kako bi se utvrdile originalne vrste morta korištene u konstrukciji otvoreno je pitanje zbog činjenice da svi restauratorski radovi na različitim konstrukcijama nisu zabilježeni. Čak i ako postoje zapisi o projektima obnove, vrlo je vjerojatno da nedostaju pouzdani podaci o podrijetlu i sastavu materijala komponenti morta. U najboljem slučaju koristimo se pretpostavkama da su korišteni iz lokalnih resursa. Vrlo opsežna istraživanja koja su provedena do danas potvrdila su kako je moguće dati približan sastav morta za izgradnju u pojedinim razdobljima. Tako je u razdoblju od 15. do 16. stoljeća, u vrijeme izrade ove vrste morta za zide, dodavala drobljena i tucana opeka i opečno brašno u vapneni mort kako bi se postigla hidraulična svojstva - bolja fizikalno-mehanička svojstva i veća otpornost na vremenske uvjete. To se je dodavalo u vrlo malim količinama, pa homogenost smjese morta nije bila postignuta tijekom ugradnje. Izbor agregata također je vrlo važan, koji kao punilo u velikoj mjeri utječe na strukturu morta i fizikalno-mehaničkih svojstava, prije svega čvrstoće na tlak.

5.1. Vapneni mort

Pod vapnom se razumijeva i kalcijev oksid (CaO) ili negašeno vapno (živo vapno), proizvod kalcinacije kalcijeva karbonata (CaCO₃) i spoj koji se dobiva nakon hidratacije oksida, na primjer kalcijev hidroksid (Ca(OH)₂), minerala portlandite, još poznat kao gašeno vapno ili hidratizirano vapno [22].

Optimalan odnos komponenta veziva i pijeska kod starih vapnenih mortova, kao na primjer Vitruvius (30 BC) i Alberti (1452) bio je 1:3. No, brojni su istraživači utvrdili da je kod rimskog i grčkog vapnenog morta taj odnos 1:2 [23, 24]. Naime, na osnovi istraživanja mnogih autora nije se došlo do konsenzusa vezano za odnos veziva i agregata. Može se slobodno zaključiti da taj odnos ovisi o vrsti vapna i o krajnjoj namjeni morta (mort za spojnice, mort za fugiranje, žbukanje). Kod starih mortova koristili su se aditivi, u ovom slučaju prirodni dodaci organskog podrijetla s ciljem poboljšanja karakteristika

morta u svježem i u očvrslom stanju. Karakteristični primjeri tih aditiva bili su: bjelance, bikova krv, sokovi različitog voća kao smokve, razna biljna ulja, životinjska mast itd. [25]. Što se tiče agregata, njegova je namjena prije svega smanjiti pojavu pukotina prilikom sušenja, osigurati odgovarajuću konzistenciju u svježem stanju te odgovarajuću čvrstoću i propusnost (poroznost) [24].

5.1.1. Ispitivanje morta za obnovu mosta

Prilikom projektiranja sastava morta mora se voditi računa o specifičnim parametrima konstrukcije mosta: dugotrajno stanje vlage u zraku, veći broj cikličnih promjena na osunčanim stranama, značajna koncentracija ispušnih plinova s ceste u neposrednoj blizini građevine i drugi, koji imaju neuobičajeno razarajuće djelovanje na materijale koji su ugrađeni u mostovsku konstrukciju.

Uobičajena je praksa da se obavi ispitivanje morta zavisno od njihove upotrebe, obično je to: mort predviđen za popunjavanje fuga, mort predviđen za izravnavanje podloge kolnika (kaldrme) mosta sa zahtjevom o vodoupojnosti, mort predviđen za zidanje, svi radovi koji se izvode s mortom i mort predviđen za injektiranje. Mortovi koji će biti izloženi utjecaju atmosferijlija trebaju se sastojati, prema dosadašnjem iskustvu, od hidratiziranog vapna u prahu ili gašenog vapna, drobljene sedre, finog pijeska te odgovarajućeg hidrauličnog dodatka.

Hidratizirano vapno u prahu, industrijski proizvod 20. stoljeća, gašeno je vapno u kojem je gašenje izvedeno s određenom manjom (stehiometrijskom) vodom. Hidrat u prahu nastaje zato što se prilikom gašenja oslobađaju velike količine topline koje pregrijavaju masu koja se gasi i pri tome količina dodane vode nije u stanju sniziti temperaturu mase koja hidratizira, odnosno temperaturu vode koja je u višku. Naglo isparavanje te slobodne kemijski nevezane vode koja napušta hidratiziranu vapnenu masu mehanički razara njezine strukture, odnosno pretvara hidrat vapna u oblik praha.

Hidratizano vapno (gašeno vapno u stanju paste) dobiva se kada je gašenje izvedeno u znatno većoj količini vode što je rađeno oddavnina.

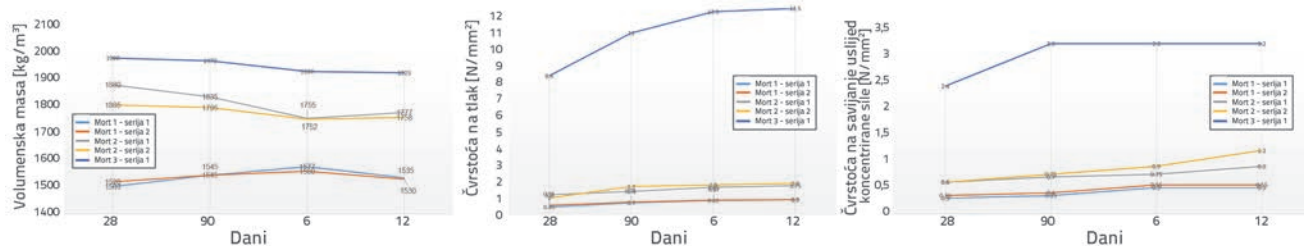
Budući da se ne mogu odrediti sve komponente morta, koje su umjesto opeke (najviše korištena za poboljšavanje morta od rimskog doba) mogle dati hidraulična svojstva mortu, odnosno saznati koji je to dodatak alumosilikatnog sastava bio komponenta analiziranih mortova, u procesu spravljanja

konzervatorskih i restauratorskih mortova se mogu koristiti danas dostupni hidraulični dodaci i/ili pucolani. Postoji mogućnost upotrebe pečene opeke s pucolanskim svojstvima, kao umjetnog pucolana. Međutim, problem predstavlja nalaženje dovoljne količine opeke iz toga vremena za drobljenje i mljevenje. Suvremena opeka pečena je na vrlo visokim temperaturama, uglavnom nema pucolanska svojstva. Velika količina opeke mortu bi dala crvenkastu boju, što dovodi u pitanje i vizualnu kompatibilnost s postojećim mortovima. Drugi dostupni umjetni pucolani su zgura, pepeo, prašina, zeolitni tuf, metakaolin dr. Međutim, uspješnost njihove upotrebe prilikom spravljanja vapnenog morta nije dovoljno ispitana. S obzirom na veliku primjenu hidrauličnog dodatka koji ne sadrži cement (Albaria struttura) u zadnjem desetljeću i kod značajnih kulturno-povijesnih građevina provedeno je ispitivanje tih mortova u Bosni i Hercegovini.

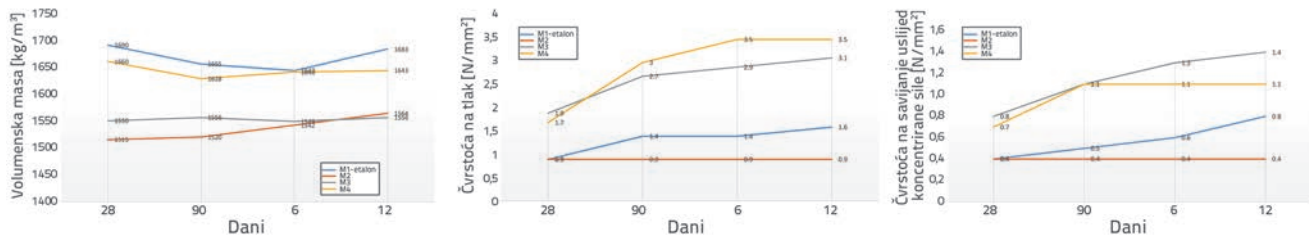
5.1.2. Mort s hidratiziranim vapnom u prahu

S obzirom na sve značajniju upotrebu različitih vrsta hidrauličnih dodataka koji ne sadrže cement kod morta, provedeno je eksperimentalno ispitivanje morta s promjenom određenih sastojaka i različitih vrsta hidrauličnih dodataka. Mort koji se koristio kao etalon imao je odnos komponenata veziva i pijeska 1:2 i spravljen je bez ikakvih dodataka, kao vapneni mort. Kod drugog morta pored hidrauličkog dodatka (Albaria struttura) u količini od 10 % dodana su i sitna zrna agregata (mort 2). U trećem slučaju u potpunosti je izbačeno vapno i umjesto njega korišten je hidraulični dodatak (Albaria struttura) kao vezivo, a količina pijeska je ostala nepromijenjena. Rezultati ispitivanja prikazani su na slici 13.

Iz slike 13. očito je da mort bez dodatka ima značajno manje čvrstoće na tlak i čvrstoće na savijanje uslijed koncentrirane sile u odnosu na mort s dodatkom Albaria struttura. Kao što je poznato, hidraulični mortovi s malom količinom veziva imaju vrlo intenzivan pad čvrstoće morta (čvrstoća na savijanje uslijed koncentrirane sile i čvrstoće na pritisak) sa smanjenjem veličine zrna agregata. Kod morta 2 (slika 13.) koji se sastoji od velike količine veziva i sitnih zrna agregata uočen je prirast čvrstoće, što je i u skladu s eksperimentalnim ispitivanjima brojnih istraživača. Dodavanjem hidrauličnog dodatka uočeno je povećavanje čvrstoće na pritisak za čak 100 %. Primjena Albaria struttura već je prije pokazala da daje značajno visoke čvrstoće na pritisak koje nisu prihvatljive kod restauracije starih građevina



Slika 13. Mort s hidratiziranim vapnom u prahu



Slika 14. Mort s gašenim vapnom

[26-28]. U mortu 3 ovo je i više nego očito jer dolazi do prirasta čvrstoća i to čak za dvanaest puta, što pokazuje da je nužno pravilno odrediti postotak udjela hidrauličnog dodatka odnosno nosioca čvrstoće i postojanosti na utjecaje atmosferilija. U tehnologiji materijala se pretpostavlja da će materijali koji imaju veću čvrstoću imati i bolju otpornost na djelovanje atmosferilija, no važno je znati da se prilikom prekomjernog povećanja jednog svojstva ne utječe negativno na druga svojstva. Drugim riječima, kod restauracije i rekonstrukcije kulturno-povijesnih spomenika važno je naći prikladnu mjeru prilikom doziranja hidrauličnih dodataka.

5.1.3. Mort s gašenim vapnom

Mort s gašenim vapnom starinski je recept koji se koristio još od doba Rimljana i Grka, pa se isto tako nastavio u doba Turaka. U nastojanju da se utvrdi utjecaj hidrauličnog dodatka na mort koji je spravljen sa gašenim vapnom, izvršena je zamjena određenog udjela gašenog vapna s hidrauličnim dodatkom (Master Emaco S 285 TIX - tvornički proizvod). Kod morta M1-etalon stavljeno je 5 % dodatka; mort M2 ima 10 % istog dodatka; mort M3 ima 20 % istog dodatka, dok je kod morta M4 vapno posve zamijenjeno hidrauličnim dodacima (Master Emaco S 285 TIX i MasterInjext 222).

Iz slike 14. se može vidjeti da je volumna masa gotovo ujednačena i da se uočene razlike pripisuju odstupanjima u obradivosti morta (mjera konzistencije). Kod morta M2 kod kojeg je povećana vrijednost hidrauličnog dodatka sa 5 % na 10 %, a proporcionalno smanjena količina gašenog vapna neočekivano su dobivene niske vrijednosti čvrstoće na pritisak bez njihovog prirasta tokom vremena. Najvjerojatnije bi uzrok mogao biti, a to treba ispitati, u uvjetima njegovanja. Naime, iako u maloj količini, hidraulični dodatak ovog tipa sigurno je zahtijevao veću količinu vlage nego što je osigurano propisanim uvjetima njegovanja za vapnene mortove s manjom količinom hidrauličnog dodatka. Očekivano s povećanjem udjela hidrauličnog dodatka značajno

se povećala čvrstoća na tlak, kao i čvrstoća na savijanje uslijed koncentrirane sile.

Radi dobivanja podataka o potvrđivanju poznatog postulata da porozni materijal veće čvrstoće treba da ima i bolju otpornost, osobito na djelovanje mraza, mortovi oznake M3 i M4 izloženi su laboratorijskom ispitivanju djelovanja mraza u trajanju od 25 naizmjeničnih ciklusa smrzavanja i odmrzavanja. Dobiveni rezultati su bili ipak neočekivani jer je mort s boljim mehaničkim svojstvima pokazao značajno lošije ponašanje na mraz i potpuno raspadanje.

U dosadašnjim iskustvima autora uočeno je da kod mortova koji su spravljeni sa zračnim vezivima (vapno i gips) i koji imaju izrazito niske čvrstoće (do 1 MPa), odnos čvrstoće na zatezanje pri savijanju i čvrstoće na pritisak je visok, pa doseže i do 1,0. Također, došlo se do spoznaje da se s povećanjem hidrauličnosti, odnosno povećanjem čvrstoće morta, navedeni odnos čvrstoća smanjuje s cementnim mortom gdje je taj odnos od 5 do 10 %.

6. Zaključak

Mostovi od kamena ostali su kao trajni pečat vladavine Osmanskog Carstva na području Bosne i Hercegovine. Radi dobivanja podataka vezanih za kamen i mort koji su se koristili prilikom rekonstrukcije mostova iz osmanskog perioda, provedeno je ispitivanje karakterističnih petrografskih vrsta kamena i vapnenih mortova s primjenom hidrauličnih tvorničkih dodataka koji ne sadrže cement. Kod mortova s upotrebom hidrauličnog dodatka koji ne sadrži cement (Albaria struttura) potvrđeno je da daje značajno visoke čvrstoće na tlak koje nisu prihvatljive kod restauracije starih građevina. O tomu je važno voditi računa pri određivanju postotka udjela toga hidrauličnog dodatka. Dodavanjem hidrauličnih dodataka gašenom vapnu, dobivene su veće čvrstoće morta, međutim neočekivano kod mortova s boljim mehaničkim svojstvima (bez vapna) uočeno je lošije ponašanje na mraz i došlo je do totalne destrukcije. U planu su daljnja ispitivanja iz ove oblasti, ali s prirodnim hidrauličnim dodacima.

LITERATURA

[1] Gojković, M.: Stari kameni mostovi- anatomija, patologija, zaštita, sanacija, konzervacija, Naučna knjiga, Beograd, 1989.

[2] Maksimović, M.: Eksploatacija, ispitivanje, primjena arhitektonskog kamena, Beograd, 2006.

- [3] Tehnička enciklopedija br. 6, Jugoslovenski leksikografski zavod Zagreb
- [4] Hansen, E.F., Balen, K.V., Elert, K., Rodriguez-Navarro, C., Simon, S.: Preservation of lime mortars and plasters. The GCI Project Bibliographies Series, 2003.
- [5] Böke, H., Çizer, Ö., İpekoğlu, B., Uğurlu, E., Serifaki, K., Toprak, G.: Characteristics of lime produced from limestone containing diatoms, *Construction and Building Materials*, 22 (2008), pp. 866–874
- [6] Papeš, J.: Tektonska građa teritorije SR BiH, Sarajevo: Geoinstitut Iliđza, 1988.
- [7] <http://www.fzzg.gov.ba/geoloske-karte>, Federalni zavod za geologiju Bosne i Hercegovine
- [8] Barić, Lj., Trubelja, F.: Minerali Bosne i Hercegovine-Nesilikati, Svjetlost, 1984.
- [9] Bilbija, N., Matović, V.: Primijenjena petrografija – svojstva i primjene kamena, GK Beograd 2009
- [10] Galić, A., Prskalo, M.: Sedra – kamen koji teče, Prvi simpozij Hercegovina – zemlja kamena, Zbornik radova, pp. 131-143
- [11] Kurtović, A.: Kamen u graditeljstvu, Građevinski fakultet, Sarajevo, 2014.
- [12] Kurtanović, R.: Ležišta nemetalnih mineralnih sirovina, Univerzitet u Sarajevu, Fakultet za metalurgiju i materijale Zenica, 2000
- [13] Maurenbrecher, A.H.P.: Mortars for repair of traditional masonry, *Practice Periodical Struct, Design Construct*, 9 (2004), pp. 62-65.
- [14] Collepardi, M.: Degradation and restoration of masonry walls of historic buildings, *Mater. Struct.*, 23 (1990), pp. 81-102.
- [15] Van Hees, R.: Damage diagnosis and compatible repair mortars, RILEM, International Workshop on Historic Mortars: Characteristics and Tests, RILEM TC-167 COM, Paisley, (1999), pp. 27-35.
- [16] Shafer, J.: The weathering of natural building stones, Department of Scientific and Industrial Research, Special Report 18, London 1972, p. 149
- [17] Ken, R.: Role of lime cycles in historic buildings, *Building Engineer*, 70 (1995), pp. 1-2
- [18] Maravelaki-Kalaitzaki, P., Bakolas, A., Moropoulou, A.: Physico-chemical study of Cretan ancient mortars, *Cement and Concrete Research*, 33 (2003), pp. 651-661
- [19] Hansen, E.F., Rodríguez-Navarro, C., Van Balen, K.: Lime putties and mortars: Insights into fundamental properties. *Studies in Conservation*, 53 (2008), pp. 9-23.
- [20] Elert, K., Rodríguez-Navarro, C., Pardo, E.S., Hansen, E., Cazalla, O.: Lime mortars for the conservation of Historic Buildings, *Studies in Conservation*, 47 (2002), pp. 62-75
- [21] <http://www.heritage-house.org/what-is-pointing-and-what-does-it-do.html>
- [22] Boynton, S.R.: Chemistry and Technology of Lime and Limestone, 2nd Edition, 1980.
- [23] Oates, J.A.H.: Lime and Limestone Chemistry and Technology, Production and Use, Wiley-VCH, 1998.
- [24] Elsen, J.: Microscopy of historic mortars - a review, *Cement Concrete Res.*, 36 (2006), pp. 1416-1424.
- [25] Moropoulou, A., Bakolas, A., Anagnostopoulou, S.: Composite materials in ancient structures, *Cement Concrete Compos.*, 27 (2005), pp. 295–300.
- [26] Demir, C., Dogu, E., Ispir, M., Ilki, A.: Seismic Behavior of Ottoman Empire Classical Period Stone Masonry Walls, 10CUEE Conference Proceedings, 10th International Conference on Urban Earthquake Engineering, Tokyo Institute of Technology, 1-2 March 2013, Tokyo, Japan
- [27] Ghiassi, B., Oliveira, V.D., Marques, V., Soares, E., Maljaee, H.: Multi-level characterization of steel reinforced mortars for strengthening of masonry structures, *Materials & Design*, 2016, Elsevier
- [28] Bosch Roig, L., Navarro Bosch, A., Martínez Boquera, A., Alonso Durá, A., Bosch Reig, I.: Consolidación Estructural De Los Puentes De Serranos Y De La Trinidad De Valencia, Proceso Y Ensayos De Puesta En Obra, Arché. Publicación Del Instituto Universitario De Restauración Del Patrimonio De La Upv - Núm. 3 (2008), pp. 221-232.