



SL. 1. POGLED NA STARI MOST SA ZAPADA, NAKON OBNOVE
FIG. 1 VIEW OF *STARI MOST* FROM THE WEST, POST-RECONSTRUCTION PERIOD

ŽELJKO PEKOVIĆ

SVEUČILIŠTE U SPLITU
UMJETNIČKA AKADEMIJA
HR – 21000 SPLIT, GLAGOLJAŠKA BB

IZVORNI ZNAJSTVENI ČLANAK

UDK 725.95:624.21:72.013:389 (497.6 Mostar)

TEHNIČKE ZNAJSTOSI / ARHITEKTURA I URBANIZAM
2.01.04 – POVIJEST I TEORIJA ARHITEKTURE
I ZAŠTITA GRADITELJSKOG NASLIJEĐA

ČLANAK PRIMLJEN / PRIHVACEN: 15. 11. 2005. / 07. 06. 2006.

UNIVERSITY OF SPLIT
ARTS ACADEMY
HR – 21000 SPLIT, GLAGOLJAŠKA BB

ORIGINAL SCIENTIFIC PAPER

UDC 725.95:624.21:72.013:389 (497.6 Mostar)

TECHNICAL SCIENCES / ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING
2.01.04 – HISTORY AND THEORY OF ARCHITECTURE
AND PRESERVATION OF THE BUILT HERITAGE

ARTICLE RECEIVED / ACCEPTED: 15. 11. 2005. / 07. 06. 2006.

GEOMETRIJA STAROGA MOSTA U MOSTARU I MJERNI SUSTAV U KOJEMU JE GRAĐEN

STARI MOST (OLD BRIDGE) IN MOSTAR – ITS GEOMETRY AND METRIC SYSTEM

HAJRUDIN, ARHITEKT
MIMAR ARŠIN
MJERNI SUSTAV
MOSTAR
STARI MOST

HAJRUDIN, ARCHITECT
„ARSHIN” (ELL)
METRIC SYSTEM
MOSTAR
STARI MOST (OLD BRIDGE)

Autor donosi analizu mjernoga sustava u kojemu je građen Stari most u Mostaru 1566. godine. Zaključuje da je cijeli most izgrađen u mjernom sustavu mimar aršina dužine 75,77 cm te njegove manje izvedenice parmaka dužine 3,157 cm. Luk mosta projektiran je i građen kao dio kružnice, a nepravilnosti na njemu nastale su u gradnji deformacijom skele.

This paper presents an analysis of the metric system of Mostar's bridge called *Stari most* (Old Bridge) constructed in 1566. The research has pointed to the conclusion that the entire bridge was constructed on the basis of an old Turkish metric system of „arshin” (i.e. ell – measuring 75,77 cm in length) and its smaller derivation „parmak” (3,157 cm in length).

UVOD

INTRODUCTION

Osmanlijski arhitekt Hajrudin, učenik Milara Sinana, podigao je 1566. godine veličanstvenu građevinu, jedan od najljepših mostova na svijetu – Stari most u Mostaru. Most je u potpunosti srušen u ratnom sukobu 1993. godine. Obnavljala ga je međunarodna zajednica uz pomoć zemalja donatora. Dva su projekta programa obnove Staroga mosta u Mostaru, temeljem provedenoga međunarodnog natječaja, dodijeljena tvrtki „Omega engineering” iz Dubrovnika: prvi – istraživanje, projekt i nadzor nad obnovom kula Tara i Halebija, te drugi – nadzor nad obnovom Staroga mosta. Na tim projektima, uza stalno uposlene stručnjake „Omega engineeringa”, sudjelevalo je mnogo vanjskih eminentnih suradnika kompetentnih za pojedine probleme istraživanja i obnove.¹ Most je temeljito istražen tijekom obnove, kao i pripadajući mu kastel s kulama.² Projekti na obnovi preklapali su se kako prostorno tako i vremenski, a istodobno su završeni 24. srpnja 2004. kada je svečano otvoren Stari most u Mostaru s pripadajućim građevinama s kojima čini organsku cjelinu.

GEOMETRIJA STAROGA MOSTA U MOSTARU

GEOMETRY OF *STARI MOST* IN MOSTAR

Geometrija Staroga mosta u Mostaru i mjerni sustav u kojemu je izgrađen oduvijek su privlačili pozornost znanstvenika. O tomu se dosta i pisalo. U Osmanlijskom Carstvu osnovna je mjerna jedinica bila arsin. Upotrebljavalo ih

se tijekom povijesti nekoliko: čarsi arsin dužine 68 cm, endaze arsin 65 cm, terzi arsin 68 cm i graditeljski mimar arsin 75,77 cm.³ Nije neuobičajeno na pojedinoj građevini manje odstupanje od važećih mjera.

Veliki poznavatelj mostova, pokojni prof. Milan Gojković⁴ dao je najznačajniji doprinos razumijevanju građenja i projektiranja geometrije mosta. On donosi zanimljiv prijedlog rekonstrukcije izvorne geometrije s pet radijusa zakrivljenosti i odnos proporcija građevine u odnosu na zlatni rez. Donosi i osnovnu mjernu jedinicu edezet arsin (62,3 cm) s kojom je, prema njegovu tumačenju, izgrađen most, a koja znatnije odstupa od poznatih mjera toga doba.

Kada je Gojković pisao članak o geometriji mosta, već je bio objavljen arhivski dokument iz doba gradnje mosta u kojemu se određuje da će most biti izgrađen „s jednim okom”⁵ na rasponu između postojećih kula, koji iznosi 46 aršina.⁶ Do jedinice dužine kojom je pokušao definirati geometriju i mjerni sustav mosta došao je tako da je podijelio raspon luka Staroga mosta s brojem 46. Dakle, Gojković je raspon već izgrađenoga mosta od 28,68 metara podijelio s 46 mjernih jedinica Osmanlijskog Carstva – aršinom te je dobio arsin koji iznosi 62,3 cm. Svoju teoriju,⁷ dakle, temelji na mjernoj jedinici arsinu-endezet dužine 62,3 cm (Sl. 2 i 4). Međutim, to neće biti točno, budući da se u arhivskom dokumentu ne spominje raspon novoga mosta, već udaljenost između kula postojećega drvenog mosta.

Arheološkim istraživanjem utvrđeno je da je Hajrudin zatekao zidove upornjake starijega drvenog mosta pa ih je dograđivao. Isto je potvrđeno i arhivskim spisima o gradnji mosta. Na obje obale nesimetrično je dogradio zidove koliko mu je to konfiguracija terena dopuštala. Time je znatno smanjio raspon luka novoga kamenog mosta. Iz spisa u kojemu se spominje raspon mosta razabire se da gradnja novoga mosta još nije počela jer se navodi: „Stari most

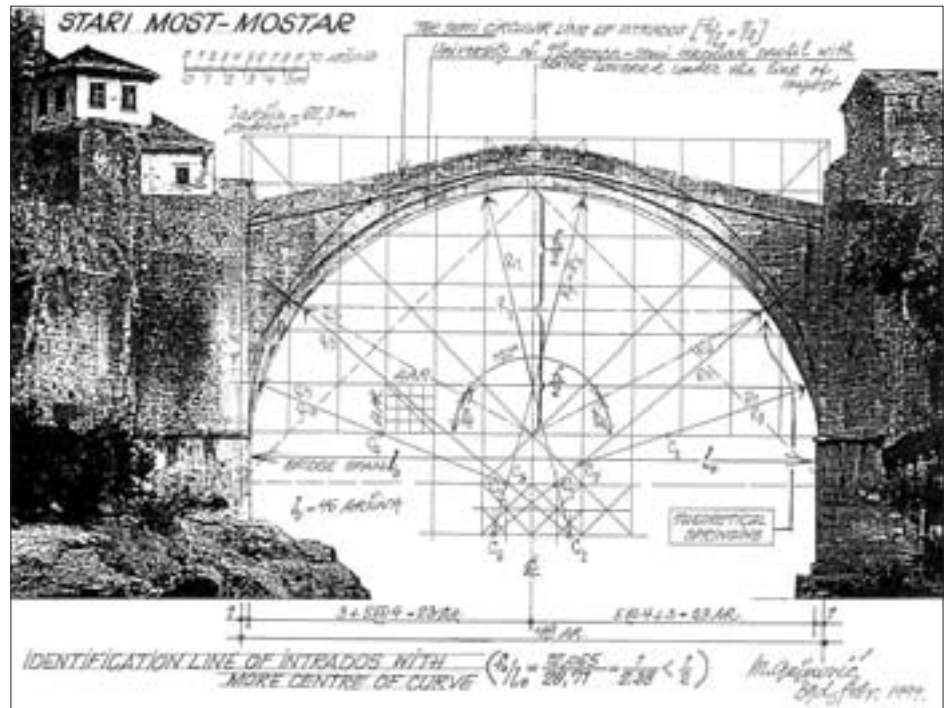
¹ Tim „Omega engineeringa” za nadzor nad obnovom Staroga mosta: voditelj: prof. dr.sc. Blaž Gotovac, glavni konzervator: prof. dr.sc. željko Peković, prof. dr.sc. Dragan Milasinović, doc. dr.sc. Ivo Čolak; arhitekti: željka Busko, Antonija Radonić; građevinski inženjeri u nadzoru: Ivana Čuljak, Dragan Martinović i Svjetlana Pekić; arheološka istraživanja: Ante Milošević, Nela Kovacević i Vesna Milošević; projekt i nadzor nad obnovom kula Tara i Halebija: voditelj: prof. dr.sc. željko Peković; arhitekti: Jelica Peković, željka Busko, Antonija Radonić; projekt elektroinstalacija: Andro Desin; nadzor konstrukcije: doc. dr.sc. Mladen Glibić; nadzor nad elektroinstalacijama: Goran Čatić; restauracija pokretnih arheoloških nalaza: Muzej hrvatskih arheoloških spomenika – Split (donacija); restaurator: Marko Rogošić; projekt rasvjete: prof. dr.sc. željko Peković, tvrtka „I Guzzini” i Tihomir Rada.

² Svi nacrti dio su dokumentacije koju je prilikom istraživanja mosta i kula oko mosta izradila grupa „Omega engineeringa” d.o.o., Dubrovnik, glavni konzervator i istraživač: prof. dr.sc. željko Peković. Arheološka istraživanja obavljena su u tri etape: prva, sondažna, kao preduvjet projektu, druga prilikom obnove mosta i treća prilikom ob-

će se porušiti, a materijal će moći dati ruke pri izgradnji novog mosta.⁸ Dakle, naredba o gradnji govori o tadašnjem rasponu upornjaka drvenoga mosta, između kojega se trebao sagraditi novi kameni most. Razmak zidova upornjaka drvenoga mosta iznosio je 34,75-34,88 m, što je nesumnjivo utvrđeno istraživanjima. Podijeli li se ta dužina raspona s brojem 46, koliko je aršina u sultanovoj odluci o gradnji, dobijemo točnu dužinu aršina od 75,77 cm dužine. To je vrlo točna mjera graditeljskoga – mimar aršina Osmanlijskoga Carstva.

Analizom geometrije ostalih dijelova mosta na temelju fotogrametrijskih snimaka iz 1982. godine utvrdio sam da su svi građevni elementi mosta izgrađeni u mjernom sustavu mimar aršina i manjih mjera izvedenih njegovim dijeljenjem. Manja jedinica koja je izvedena njegovim dijeljenjem s brojem 24 jest parmak koji iznosi 3,157 cm.⁹ Intrados (podgled) mosta, po mojim istraživanjima geometrije, projektiran je kao polukružan. Analizirajući detaljno fotogrametriju mosta iz 1982. godine, donosim sljedeća razmatranja mjernoga sustava i geometrije mosta. Geometrijskom analizom, poklapanjem i uspoređivanjem mnoštva kružnica na fotogrametrijsku snimku mosta zaključio sam da je most projektiran kao dio kružnice. Na pojedinim dijelovima dolazi do manjih deformacija, odstupanja u izvedbi, a najvjerojatniji su razlog tome udari rijeke i popuštanje skele. Progibi intradosa nastali su pod težinom konstrukcije u gradnji, i to na mjestima gdje je skela najslabija, a ta je deformacija rezultirala vitoperenjem i deformiranjem skele mjestimično i prema gore – naravno, sve u odnosu na zamišljeni idealni polukrug projektirane konstrukcije. Manje deformacije intradosa nagnale su M. Gojkovića da u svojoj rekonstrukciji utvrdi više radijusa zakrivljenosti (čak pet). Međutim, smatram da su deformacije nastale pri gradnji – popuštanjem skele.

Carlo Blasi donio je pretpostavljeni radijus pravilne kružnice od 20 aršina od 75 cm, sa spušte-



nim središtem od 4 aršina.¹⁰ Za dužinu aršina pretpostavio je dužinu približnu mimar aršinu, ali je nije dobio detaljnom metrickom analizom dijelova mosta. On smatra da je lijevi upornjak niži zbog popuštanja tla te iz toga izvlači teško prihvatljive zaključke. Istraživanjima prilikom demontaže utvrđeno je temeljenje na vrlo sigurnoj stijeni pa je visinska neusklađenost posljedica tehničke greške graditelja. Isto tako, obalni zidovi nisu paralelni, već imaju otklon.

Razmak između dva upornjaka mosta jest od 28,62 do 28,71 metar, što iznosi 38 aršina (točan razmak bio bi 28,77 m koristeći aršin 75,77 cm). Kameni luk dio je kružnice, nešto manji od njezine polovice. Središte kružnice zakrivljenosti intradosa nešto je niže od strijele luka mosta, tj. od vijenaca na upornjacima, od kojih počinje kameni luk. Visinska razlika između tjemena i vrha vijenaca jest 15,5 aršina ili 11,74 metara. Polumjer kružnice zakrivljenosti mosta iznosi 19,5 aršina ili 14,76 metara, diameter je dakle 39 aršina ili 29,55 metara. Središte zakrivljenosti pomaknuto je dolje za točno 4 aršina ili 3,03 metra u odnosu na vrh vijenaca odnosno dna kamenoga luka mosta.

Karakteristika gradnji kupola džamija 15. i 16. stoljeća upravo je to da se polukružno središte zakrivljenosti kupole spušta u njezin tamber. Pogledom na presjek nosive konstrukcije mosta očita je sličnost s presjecima njemu suvremenih kupola.

Na Hajrudinovu mostu osnovna je mjerna jedinica graditeljski ili mimar aršin dužine 75,77 cm.¹¹ Kameni luk podignut je između kamenih

SL. 2. GOJKOVIĆ: GEOMETRIJA STAROGA MOSTA, CRTEŽ, 1999.
FIG. 2 GOJKOVIĆ, GEOMETRY OF STARI MOST, DRAWING, 1999

SL. 3. POGLED NA MOST S JUGA, NAKON OBNOVE
FIG. 3 VIEW OF THE BRIDGE FROM THE SOUTH,
POST-RECONSTRUCTION PERIOD



nove kula. Istraživanja su obavili arheolozi: Ante Milošević, Nela Kovačević i Vesna Milošević. Dokumentaciju su izradili: željka Buško, Antonija Radonić i Nela Kovačević.

3 SONMEZ, 1997: 25-26

4 GOJKOVIĆ, 1989.; GOJKOVIĆ, 1966: 51-64

5 Misli se na jednolucni most.

6 POLIMAC, 1977: 109-114; VASIĆ, 1977: 189-195; ANU BiH – Zbirka 12: 65, 112, 136, 169 i 176.

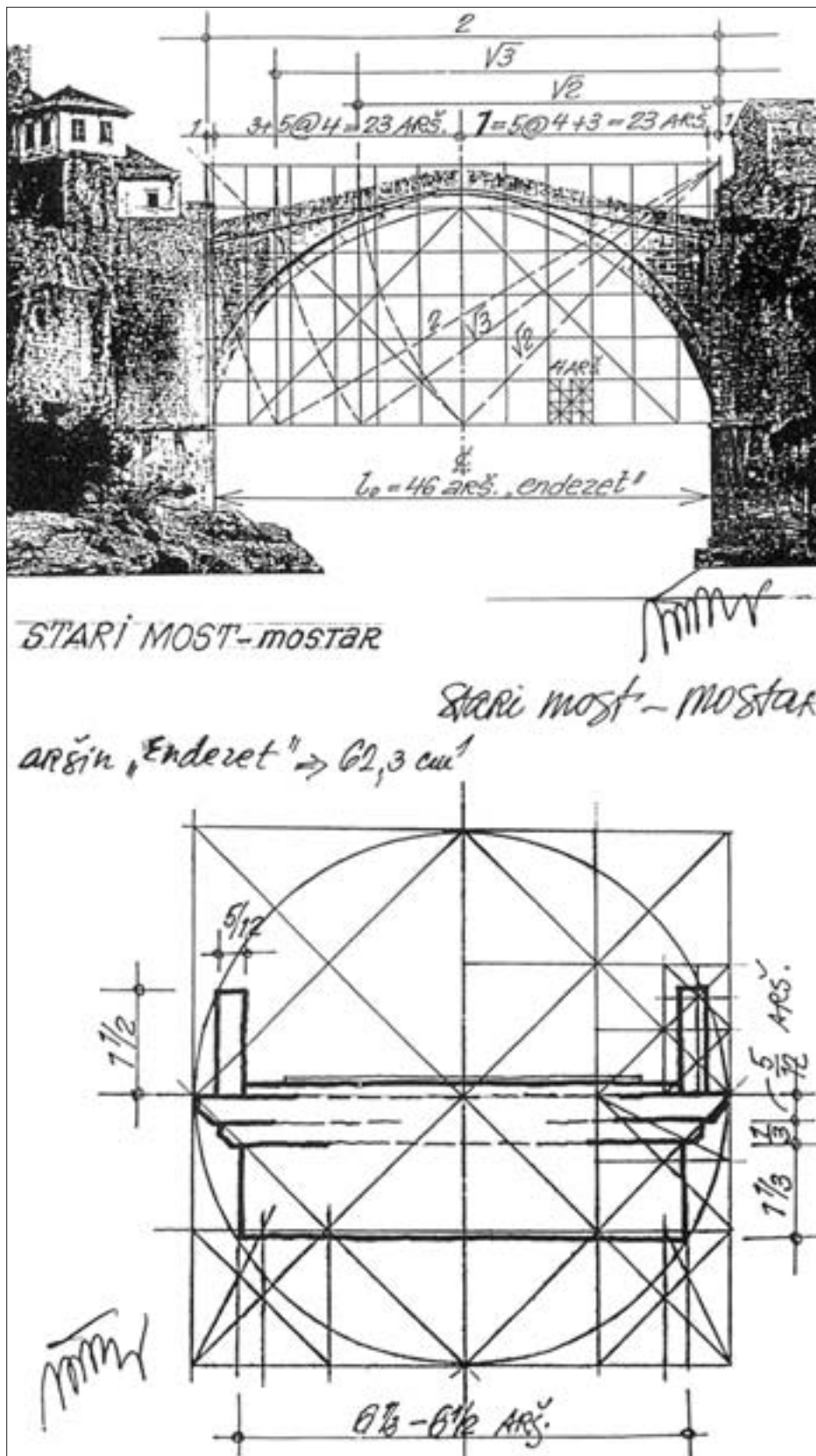
7 GOJKOVIĆ, 1999. (rukopis)

8 APV-I, 2775: 71

9 U tom je razdoblju postojao i carsi aršin dužine 68 cm te njegova manja izvedenica urub ili rub, osmine dužine carsi aršina, odnosno 8,5 cm.

10 BLASI, 2001: 50-51

11 Dalje ću u tekstu za graditeljski mimar aršin upotrebljavati samo riječ aršin (skraćena A), a za parmak skraćenicu P. Odnos manjih jedinica od aršina nastaje dijeljenjem osnovne jedinice: 1 aršin = 75,7728 cm; 1 parmak (A/24) = 3,1572 cm; 1 urub (A/9) = 8,42 cm; 1 hat (A/288) = 0,2631 cm; 1 nokta (A/3460) = 0,0219 cm.



zidova – upornjaka na obje strane rijeke. Na njima je izveden jednostavan vijenac za njegov oslonac. On je visok 31-33 cm, što odgovara visini 10 parmaka ili, točnije, 31,57 cm.

Intrados mosta građen je od 11 redova kamenih blokova. Svaki red sastavljen je od dva do pet kamenih blokova. Nad kamenim lukom istaknut je donji vijenac mosta, nad koji je također istaknuto zidno platno mosta. Na vrhu zidnog platna, a ispod ograde mosta, istaknut je gornji vijenac mosta. Vanjski rub ograde mosta točno je nad zidnim platnom mosta. Intrados kamenoga mosta širine je 5 aršina i 4 parmaka ($5\frac{1}{6}$ A), što odgovara dužini od 391,48 cm. Visina kamenih blokova luka mosta iznosi od 79 do 84 cm, najčešća je mjera 82 cm, nešto je duža od aršina, odgovara dužini od jednog aršina i 2 parmaka ($1\frac{1}{2}$ A) ili ukupno 26 parmaka.

Nad lukom mosta je donji vijenac, jednostavno profiliran visine 22,1 cm, što odgovara mjeri od 7 parmaka. Istaknut je izvan luka 4,5 parmaka. Nad sobom nosi zidno platno mosta koje je u odnosu na osnovni luk mosta istaknuto $\frac{1}{6}$ aršina ili 4 parmaka, što iznosi 12,6 cm. Uvučeno je od rubova vijenca koji ga nose za $\frac{1}{2}$ parmaka ili 1,6 cm. Dakle, osnovni je presjek mosta između dva zidna platna širine $5\frac{1}{2}$ aršina (5 aršina i 12 parmaka) ili 417 cm. Unutar tijela mosta na njegove obje strane nalaze se „štedni otvori“ promjenljiva presjeka, koje formiraju tri zida. Znači, presjek mosta uz obale sastoji se od tri vertikalna zida koji stoje na svodu. Vanjski su nešto deblji i izvana zidani vrlo pravilnim klesancima, dok je središnji zidan manjim neobrađenim kamenom. Širina štednih otvora i središnjega zida između njih iznosi 1 aršin, dok su vanjski zidovi široki jedan aršin i 6 parmaka ($1\frac{1}{4}$ A).

Kamene ograde mosta leže na gornjem vijencu koji je visine 7 parmaka (22 cm), a istaknut je $\frac{1}{6}$ aršina ili 4 parmaka. Vanjski brid ograde je vertikalni i poklapa se u vertikali sa zidovima mosta. Dakle vanjski su im rubovi udaljeni 5,5 aršina, dok je unutrašnji razmak 5 aršina ili 378 cm. Iz toga proizlazi da je vrh ograde širine $\frac{1}{4}$ aršina ili 6 parmaka ili 18,9 cm. Budući da su unutrašnje strane ograde skošene u dnu, s obje strane za $1\frac{1}{2}$ parmaka uža hodna ploha. Ograda je visine $1\frac{1}{4}$ aršina, znači 30 parmaka ili 94,7 cm. Današnja je kaldrma prilično nepravilna i nije iz doba izgradnje mosta pa je neću mjerno analizirati. Izvorna kaldrma bila je potpuno nepravilna i izrađena od neobrađenoga kamena.

Obalni su zidovi zidani u istome mjernom sustavu, raznih debljina – ovisno o njihovom položaju i izloženosti hidrodinamičkim udarima rijeke. Uzvodni i nizvodni zidovi na lijevoj obali konti-

SL. 4. GOJKOVIĆ: GEOMETRIJA STAROGA MOSTA, CRTEŽ, 1999.
FIG. 4 GOJKOVIĆ: GEOMETRY OF STARI MOST, DRAWING, 1999

nuirane su debljine od 189 cm ili točno 2,5 aršina. Na desnoj obali zidovi su promjenljiva presjeka. Nizvodni je zid na toj obali najzašćeniji od udara pa je zato i najtanji – oko 126 cm, što iznosi $1\frac{2}{3}$ aršina ili 40 parmaka. Uzvodna je strana od svih zidova najjače izložena udarima rijeke, tako da je graditelj uzvodno gradio zid promjenljiva presjeka. U dnu je širok 303 cm ili 4 aršina, stepenasto se sužava prema svome vrhu, gdje je širine 114 cm ili 1,5 aršina. Njegovo sužavanje teče stepenasto tako da se zid širine 4 aršina, na visini od $2\frac{1}{6}$ aršina od horizontalnoga vijenca luka mosta (na koti 46,84 metara nadmorske visine sužava za $\frac{1}{2}$ aršina, pa je tada debljine $3\frac{1}{2}$ aršina ili 265,2 cm. Tako debeo zid visok je $1\frac{1}{2}$ aršina. Potom se sužava za 1 aršin na debljinu od $2\frac{1}{2}$ aršina, što iznosi 189,42 cm. Tako je debeo u visini od $1\frac{2}{3}$ aršina (40 parmaka) ili 126 cm. Ponovno se zid sužava za $\frac{2}{3}$ aršina na debljinu od $1\frac{5}{6}$ aršina ili 139 cm. Visine je 3 aršina ili 228 cm. Posljednje suženje za $\frac{1}{3}$ aršina definira završnu širinu zida oko mosta debljine $1\frac{1}{3}$ aršina, što iznosi 101 cm. Tako debeo zid visok je 5 aršina ili 378 cm. Zid desne obale na svome je vrhu debeo 1,5 aršin i stepenasto se širi prema svome temelju do ukupne debljine od 4 aršina. Prostor koji on omeđuje s unutrašnje je strane bio zasut pijeskom u potpunosti visini.

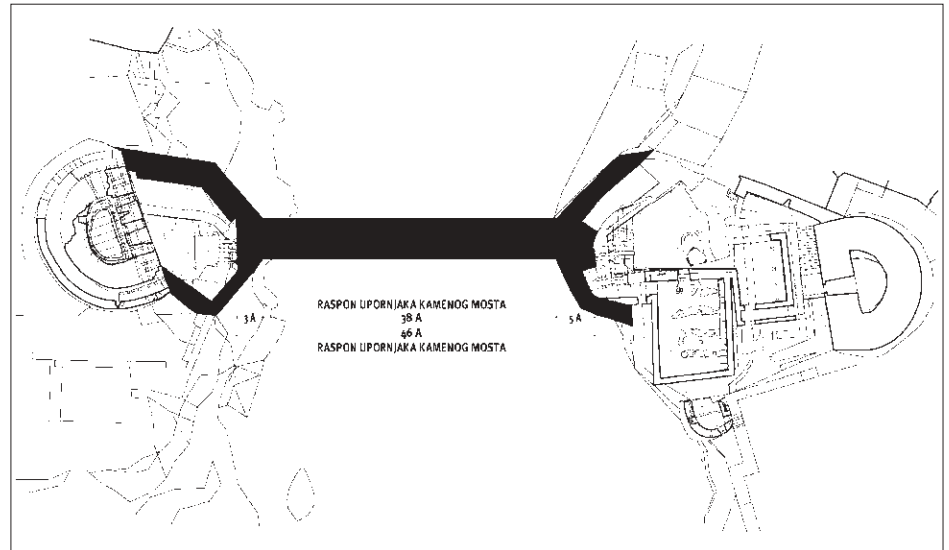
Obalni zidovi na lijevoj obali, za razliku od desne, kontinuirane su debljine od 2,5 aršina (60 parmaka), uzvodni je na vrhu pridržan bacvastim svodom. Prostor iza njega ostao je podzemna nadsvedena nezapunjena prostorija. Debljine pojedinih zidova (deblji uzvodni, tanji nizvodni) i smisljena proširenja desnoga uzvodnog zida što prima najjače udare rijeke koji se gotovo idealno poklapaju s razinama velikih voda i katastrofalno velikih voda govori u prilog poznavanju prilika vodnoga režima na tome lokalitetu i graditeljevo iznimno poznavanje statike potpornoga zida.

ZAKLJUČAK

CONCLUSION

Mimar Hajrudin podigao je Stari most u Mostaru, svoje remek-djelo, 1566. godine na mjestu prijašnjega drvenog mosta. Njegova geometrija oduvijek je privlačila pozornost. Najznačajniji znanstveni doprinos dao je pokojni prof. Milan Gojković. Veliki poznavatelj mostova značajno je pridonio razumijevanju gradnje i projektiranja geometrije mosta. Nakon njegova rušenja 1993. godine, prilikom obnove 2002.-2004. godine provedena su sustavna arheološka istraživanja koja su dala odgovore na mnoge zagonetke i omogućila pravilno iščitavanje (razumijevanje) arhivskih dokumenata iz doba gradnje mosta.

Analizirajući detaljno fotogrametrijsku snimku mosta iz 1982. godine, geometrijskom analizom, poklapanjem i uspoređivanjem mnoštva kružnica na sačuvanu geometriju mosta zaklju-



čio sam da je most projektiran kao segment kružnice. Na pojedinim dijelovima dolazi do manjih odstupanja u izvedbi, a najvjerojatniji je razlog tomu popuštanje skele pri udarima rijeke. Progibi intradosa nastali su pod težinom konstrukcije u gradnji na mjestima gdje je skela najslabija, a ta je deformacija rezultirala vitoperenjem i deformiranjem skele mjestimično i prema gore. Naravno – sve u odnosu na zamisljeni idealni luk projektirane konstrukcije.

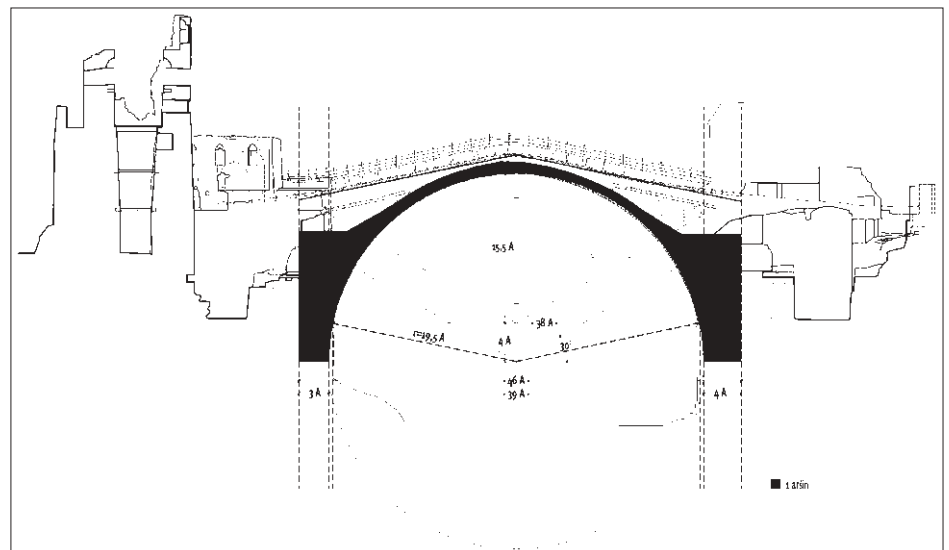
Na temelju arhivskoga dokumenta koji spominje raspon mosta od 46 aršina i pronalaskom upornjaka u arheološkim istraživanjima utvrđena je mjerna jedinica na mostu. Osnovna mjerna jedinica je graditeljski ili mimar aršin dužine 75,77 cm. Manja jedinica koja je izvedena njegovim dijeljenjem s brojem 24 jest parmak, koji iznosi 3,157 cm. Mjerni sustav proveden je i iščitavan na svakom elementu kon-

SL 5. LOCRT MOSTA NAKON ARHEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA, S OZNAČENIM RASPONOM UPORNJAKIH ZIDOVA DRVENOGA I KAMENOGA MOSTA

FIG. 5 BRIDGE PLAN FOLLOWING ARCHAEOLOGICAL RESEARCH WITH THE MARKED SPAN BETWEEN THE ABUTMENTS OF THE WOODEN AND STONE BRIDGE

SL 6. UZDUŽNI PRESJEK MOSTA S PRIJEDLOMOM REKONSTRUKCIJE IZVORNE GEOMETRIJE

FIG. 6 LONGITUDINAL SECTION OF THE BRIDGE WITH A PROPOSED RECONSTRUCTION OF ITS ORIGINAL GEOMETRY



LITERATURA BIBLIOGRAPHY

1. BLASI, C. (2001.), *Architecture, Géométrie et déformation d'un pont ottoman*, „Archéologia”, 376: 50-51, Dijon Cedex
2. GOJKOVIĆ, M. (1966.), *Jedna hipoteza o izgledu i konstrukciji mosta preko Neretve u Mostaru pre gradjenja Starog mosta*, „Zbornik zaštite spomenika kulture”, 17: 51-64, Beograd
3. GOJKOVIĆ, M. (1989.), *Stari kameni mostovi*, Naučna knjiga, Beograd
4. POLIMAC, A. (1977.), *Novi dokumenti o gradnji Starog mosta u Mostaru*, „Most”, 14-15: 109-114, Mostar
5. SONMEZ, NESLIHAN (1997.), *Osmanli donemi, Yapi ve malzeme terimleri sozlugu*, Istanbul
6. VASIĆ, M. (1977.), *O gradnji Starog mosta u Mostaru*, „Balkanica”, 8: 189-195, Beograd

IZVORI SOURCES

ARHIVSKI IZVORI

ARCHIVE SOURCES

1. ANU BiH – Akademija nauka i umjetnosti BiH, Orientalni institut u Sarajevu
2. APV-I – Arhiv Predsjedništva vlade u Istanbulu (Basbakanlik Arsivi Istanbul), Ahkam defteri, sv. 2775: 71

DOKUMENTACIJSKI IZVORI

DOCUMENT SOURCES

1. GOJKOVIĆ, M. (1999.): rukopis
2. ANU BiH – Zbirka 12: 65, 112, 136, 169 i 176 (fotokopije)
3. OE – „Omega engineering” d.o.o., Dubrovnik

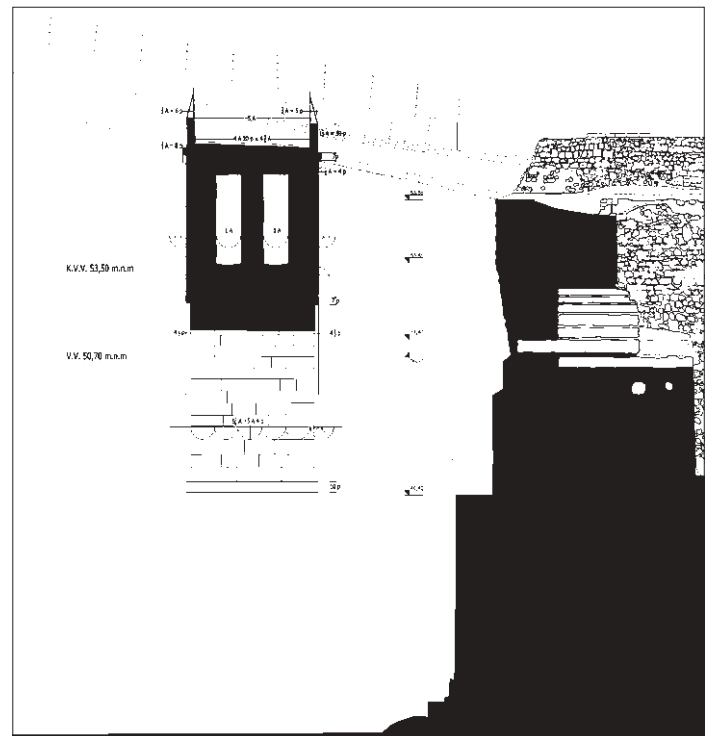
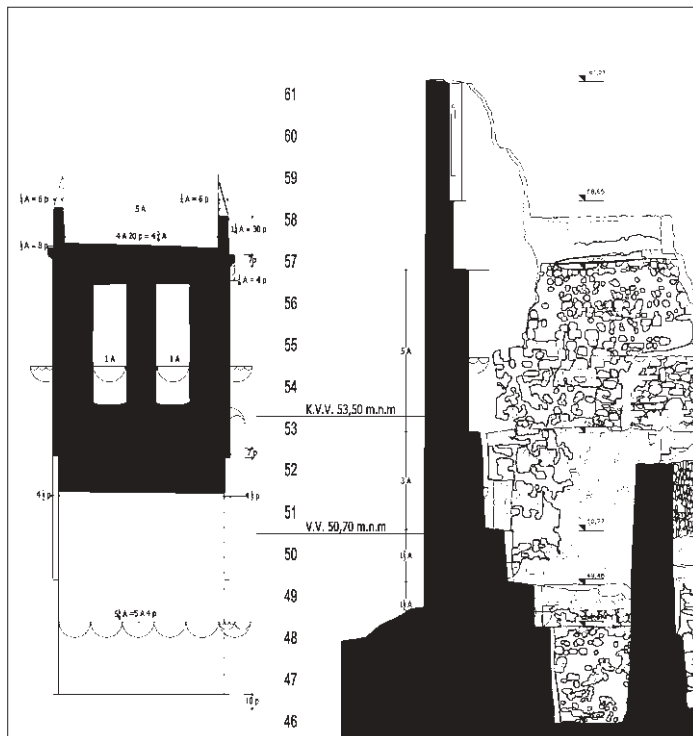
strukcije mosta. Polumjer kružnice zakrivljenosti mosta iznosi 19,5 aršina ili 14,76 m, dijametar je dakle 39 aršina ili 29,55 m. Središte zakrivljenosti pomaknuto je dolje za tačno 4 aršina ili 3,03 m u odnosu na vrh vijenca odnosno dna kamenoga luka mosta. Karakteristika gradnji kupola džamija 15. i 16. stoljeća jest upravo to da se polukružno središte zakrivljenosti kupole spušta u njezin tambur. Pogledom na presjek nosive konstrukcije mosta očita je sličnost s presjecima njemu suvremenih kupola. Dimenzioniranje potpornih zidova gotovo se idealno poklapa s razinama velikih voda i katastrofalno velikih voda, što govori u prilog poznavanju prilika vodnoga režima na tome lokalitetu i graditeljevo iznimno poznavanje statike potpornoga zida.

SL. 7. UZVODNI UPORNJACKI ZID, PROMJENLJIVI PRESJEK U ODNOSU NA RAZINU RASTA VODE

FIG. 7 ABUTMENT, VARYING SECTION IN RELATION TO THE WATER LEVEL

SL. 8. POPREČNI PRESJEK KONSTRUKCIJE MOSTA, MJERNI SUSTAV

FIG. 8 CROSS-SECTION OF THE BRIDGE STRUCTURE, METRIC SYSTEM



IZVORI ILUSTRACIJA

ILLUSTRATION SOURCES

- SL. 1., 3. Foto: Peković
 SL. 2., 4. GOJKOVIĆ, 1999.
 SL. 5.-8. OE (ž. Peković, J. Peković, N. Kovačević, z. Busko, A. Radonić)

SAŽETAK

SUMMARY

STARI MOST (OLD BRIDGE) IN MOSTAR – ITS GEOMETRY AND METRIC SYSTEM

Hajrudin, a Turkish architect and a Mimar Sinan's disciple, erected in 1566 a magnificent structure known as *Stari most* in Mostar. It was considered one of the most beautiful bridges in the world at the time. The bridge was entirely demolished in 1993 war. Its reconstruction was supported and financed by foreign countries. Following an international competition, two reconstruction projects were commissioned by „Omega Engineering” company from Dubrovnik: one of them was aimed at research, design and supervision of the reconstruction of Tara and Halebija towers whereas the other one was aimed at the reconstruction supervision of *Stari most*. In the course of reconstruction the bridge was thoroughly researched together with its castle and towers.

The geometry and metric system of the bridge have always aroused interest within the scientific community. The basic unit of measure in the Turkish Empire was an „arshin” (ell). Several measures have been used throughout history: the so-called „carsi” arshin (68 cm in length), „endaze” arshin (65 cm), „terzi” arshin (68 cm) and „mimar” arshin (75,77 cm) for building purposes. A great expert in bridges, prof. Milan Gojković made a significant contribution to an understanding of the construction and geometrical design of bridges. He put forward an interesting proposal for the reconstruction of the original geometry with five curvature radii as well as the ratio between the proportions of the structure in relation to the Golden Section. His theory suggested that the basic unit of measure in the bridge construction was „edezet” arshin (62,3 cm) which was markedly different from other known measures of the time. In order to determine the unit of length which would serve as a basis for defining the geometry and metric system of the bridge, he divided the arch span of the bridge by 46. In other words, Gojković divided the span of the already constructed bridge of 28,68 m by 46 metric units of the Turkish Empire (arshin) and thus arrived at an arshin of 62,3 cm.

Archaeological research has shown that Hajrudin had discovered abutments of an earlier wooden bridge which he subsequently built on. The same is

confirmed by the archive materials concerning the bridge construction. The arch span of the new stone bridge was considerably reduced through the process of building on the abutments. The span between the abutments of the wooden bridge was 34,75-34,88 m as proved by the research. When this length of the span is divided by 46 (the number of arshins contained in the sultan's decree on construction), we get the exact unit of measure – an arshin of 75,77 cm. It is an accurate measure of the building „mimar” arshin of the Turkish Empire. The analysis of the geometrical features of other parts of the bridge based on 1982 photogrammetric survey shows that all elements of the bridge were built in the metric system of „mimar” arshin and smaller measures derived from it. A smaller unit of measure derived from dividing the „mimar” arshin by 24 is „parmak” measuring 3,157 cm. A systematic analysis of the bridge photogrammetric survey from 1982 has served as a basis for researching into the metric system and geometry of the bridge. The research results have proved that the bridge was designed as a segment of a circle. Some parts are slightly deformed as a result of water blows or a loosened scaffolding probably. Deformations resulted in warping as well as an upward distortion at some points in relation to an ideal semi-circle of the designed structure.

The span between the two abutments ranges from 28,62 to 28,71 m – equal to 38 arshins (the exact span would be 28,77 m using the 75,77 cm arshin). The stone arch is a segment of the circle, somewhat smaller than its half. The mid-point of the circle of the intrados curvature is somewhat lower than the arch rise, i.e. the cornices on the abutments from which the stone arch springs. The difference in height between the arch key and the top of the cornices is 15,5 arshins or 11,74 metres. The radius of the circle of the bridge curvature is 19,5 arshins or 14,76 metres; the diameter is 39 arshins or 29,55 metres. The centre of the curvature is moved downwards by 4 arshins or 3,03 metres in relation to the top of the cornice, i.e. the bottom of the stone arch. The basic unit of measure of Hajrudin's bridge is the building or „mimar” arshin measuring 75,77 cm in length. The stone arch springs from the stone abutments on either bank of

the river bearing a simple cornice as a support. The cornice is 31-33 cm high corresponding to the height of 10 parmaks or 31, 57 cm.

The intrados of the bridge was built by means of 111 courses of stone blocks. Each course contains between two and five stone blocks. Above the stone arch there is the lower cornice of the bridge with a wall above. On top of the wall and below the bridge parapet there is the upper cornice. The outer edge of the bridge parapet is right above the bridge wall. The intrados of the stone bridge is 5 arshins and 4 parmaks ($5 \frac{1}{6} A$) wide corresponding to the length of 391,48 cm. The height of the stone blocks of the arch is between 79 and 84 cm; the most common measure is 82 cm, it is somewhat longer than the arshin and corresponds to the length of 1 arshin and 2 parmaks ($1 \frac{1}{12} A$) or a total of 26 parmaks.

The simply moulded lower cornice is on top of the arch. It is 22,1 cm high corresponding to 7 parmaks. It is projected from the arch by 4,5 parmaks. Above it there is the bridge wall which, in relation to the main arch, is projected by $\frac{1}{6}$ arshin or 4 parmaks (12,6 cm). It is retracted from the edges of the cornice supporting it by $\frac{1}{2}$ parmaks or 1,6 cm. Therefore, the basic section of the bridge between the two walls is $5 \frac{1}{2}$ arshins wide (5 arshins and 12 parmaks) or 417 cm. Within the body of the bridge on its either side there are „openings” of varying sections formed by three walls. Therefore, the section of the bridge along the banks consists of three perpendicular walls put up above the vault. The outer walls are thicker and built up of regular stone blocks whereas the central one is made of smaller rough stone blocks. The width of the openings and the central wall between them is 1 arshin whereas the width of the outer walls is 1 arshin and 6 parmaks ($1 \frac{1}{4} A$).

The widths of certain walls (thicker ones upstream and thinner ones downstream) as well as widening of the right upstream wall which receives the strongest water blows shows that the builder had a profound knowledge of the water regime as well as of the abutment statics.

ŽELJKO PEKOVIĆ

BIOGRAFIJA

BIOGRAPHY

Dr.sc. ŽELJKO PEKOVIĆ, dipl.ing.arh., izvanredni je profesor na Umjetničkoj akademiji Sveučilišta u Splitu i voditelj kolegija „Istraživanje i dokumentacija”, „Uvod u arhitektonsku konzervaciju, povijesne metode i tehnike” i „Povijest arhitekture i urbanizma”. Diplomirao je 1983., magistrirao 1991. i doktorirao 1995. godine na Arhitektonskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Voditelj je više kolegija na poslijediplomskom studiju „Graditeljsko naslijeđe” Arhitektonskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu te predaje na poslijediplomskim studijima Filozofskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i Arhitektonskog fakulteta Univerziteta u Sarajevu.

ŽELJKO PEKOVIĆ, Dipl.Eng.Arch., Ph.D., Associate Professor at the Art Academy of the University of Split. He currently teaches courses in Research and Documentation, Introduction to Architectural Conservation, Historical Methods and Techniques, and History of Architecture and Urban Planning. He graduated in 1983, received his Master of Science degree in 1991 and his Ph.D. degree in 1995 at the Faculty of Architecture in Zagreb. He teaches post-graduate courses in Built Heritage at the Faculty of Architecture in Zagreb as well as other post-graduate courses at the Faculty of Philosophy in Zagreb and the Faculty of Architecture in Sarajevo.