

## Geotehničke karakteristike obale srednjeg toka rijeke Neretve kroz grad Mostar

**Goran Šunjić**

Sveučilište u Mostaru, Građevinski fakultet, doc. dr. sc.

goran.sunjic@gf.sum.ba

**Tatjana Džeba**

Sveučilište u Mostaru, Građevinski fakultet, mr. sc.

tatjana.dzeba@gf.sum.ba

**Maja Prskalo**

Sveučilište u Mostaru, Građevinski fakultet, prof. dr. sc.

maja.prskalo@gf.sum.ba

**Sažetak:** Regulacijski plan povijesnog gradskog područja Mostar obuhvata najvažnije aspekte očuvanja i razvoja povijesnih gradskih zona. Odredbe Regulacijskog plana odnose se i na uporabu zemljišta i objekata, koja ima za cilj zaštititi i revitalizirati tradicionalni način uporabe kao i zaštititi prirodne karakteristike područja [8]. S tim u svezi, unutar granica povijesnog gradskog područja Mostar postoji deset zona koje su podijeljene prema uporabi zemljišta i objekata a Zona 8 se odnosi na Neretvu kao zaštićenu obalnu zonu. Istraživanje je imalo za cilj definiranje uzroka i stanja raspadanja, oštećenja i stabilnosti stijena, zatim definiranje postojećeg stanja u pogledu geološke građe, te obilazak najkritičnijih dijelova, na kojima je neophodna sanacija.

**Ključne riječi:** geološka građa obale, zaštićeno područje, definiranje opterećenja, Bunur

## Geotechnical characteristics of the banks in the middle course of the Neretva River through the City of the Mostar

**Abstract:** Regulation Plan for the historic town area of Mostar includes major aspects of preservation and development of historic town zones. Provisions of the Regulation Plan pertain to use of land and buildings, aiming to preserve and revive the traditional uses and protect the natural characteristics of the area [8]. In this respect, the historic area of the town of Mostar has been divided into ten zones according to the use of land and structures, and Zone 8 covers Neretva as a protected riverside zone. The study aimed to define causes and state of weathering, damage and stability of rocks, then to define the existing state in terms of geological structure, and visit the most critical sections that require improvement.

**Key words:** geological structure of banks, protected area, load defining, Bunur

Šunjić, G., Džeba, T., Prskalo, M.

## Geotehničke karakteristike obale srednjeg toka rijeke Neretve kroz grad Mostar

### 1. UVOD

Terenskim rekognosciranjem šireg područja obale rijeke Neretve uočeno je kako je riječ o vrlo povezanim riječnim konglomeratima i brečama (vrlo razvijene riječne terase – narodni izraz pećine). Nepovezani pjeskoviti materijali su isprani protokom vode te su se formirale konzole koje vremenom popuštaju i formiraju se odvalni blokovi bliže toku rijeke.

Detaljnim opažanjem stijena utvrđeno je da su uzroci oštećenja brojni, različitog intenziteta djelovanja i posljedica tijekom cijelog toka rijeke Neretve kroz Mostar.

Otpornost, stabilnost i postojanost stijenske mase uvjetovana je djelovanjem različitih čimbenika, a posebno utjecajem abrazije i erozije riječne vode. Posebno se može istaknuti snažno djelovanje valova i porni pritisci u pornom prostoru vode. Složeno i cikličko ponavljanje ovih procesa karakterizira specifičan strukturno-petrografski sklop. Diferencijalni i progresivni učinak pojedinih procesa samo je dio složenih uvjeta u kojima se spomenute stijene oslabljuju, troše i raspadaju.

### 2. GLAVNI ČIMBENICI OŠTEĆENJA STIJENA

#### 2.1 Postojeće stanje obala rijeke Neretve kroz grad Mostar

Riječne terase su razvijene kao međusobno razdvojeni blokovi. Svaki blok riječne terase ima donji, podinski i gornji krovinski (povlatni) dio. Najkraće rastojanje od podinskog do povlatnog dijela bloka je njegova debljina (Slike 1 i 2), [6].



Slika 1. Prikaz gornjeg povlatnog dijela riječnog bloka



Slika 2. Prikaz donjeg podinskog dijela riječnog bloka

Između dva bloka riječne terase je zona kontakta s pretežito nepovezanim zrnima aluvija. Kako se podzemne vode usmjeravaju kontaktnim zonama riječnih terasa, nepovezana zrna šljunka i pijeska budu isprana te se formiraju specifični prazni prostori sve do razvijenih speleoloških objekata (narodni izraz "pećina").

Pojavom praznih prostora između blokova riječnih terasa, takvi blokovi se naprežu konzolno, te zbog pojave vlačne zone u povlatnom dijelu, oni popuštaju i odvaljuju se prema riječnom koritu. U riječnom koritu i na obali vide se takvi blokovi (Slike 3 i 4).

Šunjić, G., Džeba, T., Prskalo, M.

## Geotehničke karakteristike obale srednjeg toka rijeke Neretve kroz grad Mostar



Slika 3. Odvalni blokovi u koritu rijeke



Slika 4. Razlomljene stijene na desnoj obali

### 3. HIDRODINAMIČKO OPTEREĆENJE OBALNE STIJENE VALOM

#### 3.1 Definiranje postojećeg stanja utjecaja na obale rijeke Neretve kroz grad Mostar

Vjetrovni valovi definirani su visinom  $H$ , periodom  $T$  i duljinom  $L$ . Dolaskom na obalnu stijenu deformiraju se u pogledu visine i duljine te reflektiraju. Prilikom refleksije predaju određenu energiju koja u neporemećenom valu iznosi:

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2 L$$

(gdje su:  $\rho$  - gustoća vode,  $g$  - gravitacija,  $H$  - visina vala i  $L$  - dužina vala) a sastoji se od potencijalne i kinetičke energije. Ova predaja može biti kroz potencijalnu energiju očitovana u tlačnom opterećenju stajnog vala koje iznosi otprilike  $p = \rho g H$  ili pak kroz udarno opterećenje ako postoje uvjeti za lom vala na prepreci ili u njoj blizini. Ovo udarno opterećenje može bitno varirati ovisno o geometriji vala i prepreke.



Slike 5. i 6. Utjecaj valova na obalu na lokaciji Bunur

S obzirom da je promatrano područje oko Bunura, Slika 5, izloženo udaru bure, dominantni smjer valova je N i NE. Iz podataka o vjetrovima može se doći do odgovarajućih

Šunjić, G., Džeba, T., Prskalo, M.

## Geotehničke karakteristike obale srednjeg toka rijeke Neretve kroz grad Mostar

valova, a iz mogućeg hidrodinamičkog opterećenja stijene, izračuna se tlačno opterećenje na stijenu.

Nelomljeni val na stijeni ima teoretski maksimalni doseg od jedne visine vala od svoje srednjice, zbog čega je njegovo tlačno opterećenje najveće na samoj srednjici i iznosi  $p = \rho g H$ . Ukoliko se val deformira i lomi na stijeni ili ispred same stijene tada se za normalni lom može upotrijebiti jednadžba Hiroija (1967.), (iz Horikawa, 1878.),  $p = 1,5\rho gH$  [4].

Očigledno je da su svi navedeni izrazi poluempirijski, a ovise o lokalnoj geometriji. Za složenu geometriju dna i obalnih stijena za različite napadne kutove valova kod određenih lokacija (npr. Bunur) točne vrijednosti bi se mogle dobiti samo istraživanjem na hidrauličkom modelu ili mjerenjem u prirodi [3].

Na lokaciji oko Bunura (Slike 5 i 6) rijeka čini lijevi zavoj, što ukazuje na činjenicu kako je lijeva obala kompaktnija u geomehaničkom smislu, te se tok rijeke "odbija" prema desnom boku, slabijih mehaničkih svojstava. Ovdje je svakako potrebno naglasiti utjecaj povećanja protoka kroz HE na Neretvi za vrijeme velikih voda, osobito HE Mostar, kada valovi mogu dostići veličinu i od nekoliko metara. Njihov utjecaj na razbijanje obala je sigurno značajan ali i nedovoljno ispitan u posljednjih 30-tak godina.

Nepredvidiva Neretva tijekom svoje daljnje i bliže prošlosti ne prestaje ometati i zbunjivati graditelje. Narasla voda je 1999. g. odnijela provizorni viseći most na mjestu srušenog Starog mosta, a oštetila je i neke građevine nizvodno od mosta. Ta snažna bujica nije bila uzrokovana samo velikim kišama i nabujalim pritokama, već i međusobnim nekoordiniranim upravljanjem uzvodnih hidroelektrana [9]. Još u starim dokumentima je autor Carl Peez zabilježio: „Koji put se događa da se Neretva ljeti skoro nikako mjestimice među iznešenim natkritim stijenama ne vidi, padne li jaka kiša, izdignu se valovi često do gradskih zgrada i ispune među 14 m visokim obalama riječno korito potpuno” [10].

Promatrajući šire područje izdvajamo prikaz načinjen pri gradnji Novog mosta na rijeci Neretvi. Gradilište mosta je krajem 2010. godine bilo poplavljeno vodama ranga pojave većeg od stogodišnjih voda [11].



Slika 7. Gradilište Novog mosta 2010. godine [11]

Globalna erozija posljedica je snižavanja razine dna uslijed hidrometeoroloških i geomorfoloških promjena i/ili ljudskih aktivnosti na slivu. Kratkoročna globalna erozija se razvija tijekom poplave, a dugoročna globalna erozija se razvija tijekom znatno dužeg razdoblja te obuhvaća progresivnu degradaciju korita i bočno izmicanje obala. Uslijed postojanja mosta u profilu rijeke dolazi do erozije uslijed suženja toka i lokalna podlokavanja uslijed utjecaja upornjaka ili stupova u koritu rijeke [12].

Promatrajući lokaciju Novog mosta na Slici 8, vidljivo je da na konkavnoj (desnoj) obali postoji veća opasnost od erozije obale [13], a time i negativnog utjecaja na temelj stupa mosta. Sukladno tome je izvršena zaštita desne obale u blizini riječnog stupa mosta izgradnjom nabačaja od velikih kamenih gromada - Slika 9.

Šunjić, G., Džeba, T., Prskalo, M.

## Geotehničke karakteristike obale srednjeg toka rijeke Neretve kroz grad Mostar

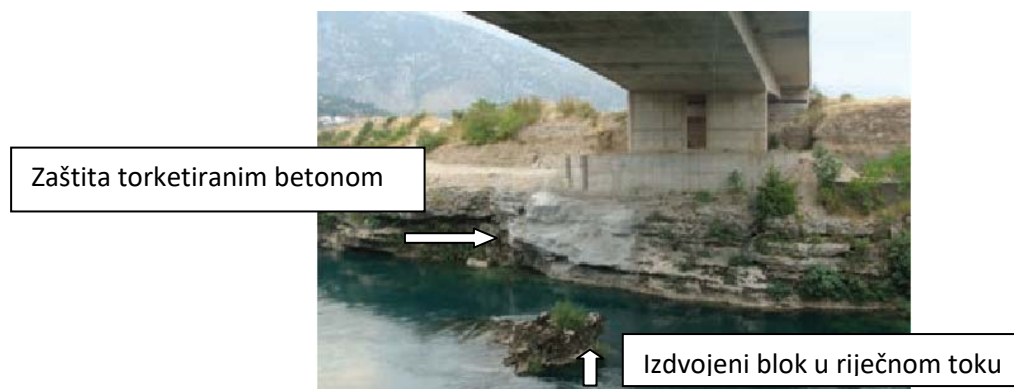


Slika 8. Lokacija Novog mosta na Neretvi [11]



Slika 9. Zaštita desne obale kod riječnog stupa Novog mosta na Neretvi [11]

Na lijevoj obali stup je temeljen na plitkoj temeljnoj AB ploči na slojevima povezanih konglomerata i breča. Vidljiva je i pojava izdvojenih konglomerata i breča u riječnom toku. Obzirom da formirane konzole konglomerata vremenom uslijed utjecaja vode popuštaju, izrađena su tzv. pasivna sidra I torketirani beton na lijevoj obali kao zaštita od utjecaja vode (slika 10).



Slika 10. Zaštita lijeve obale torketiranim betonom [11]

Šunjić, G., Džeba, T., Prskalo, M.

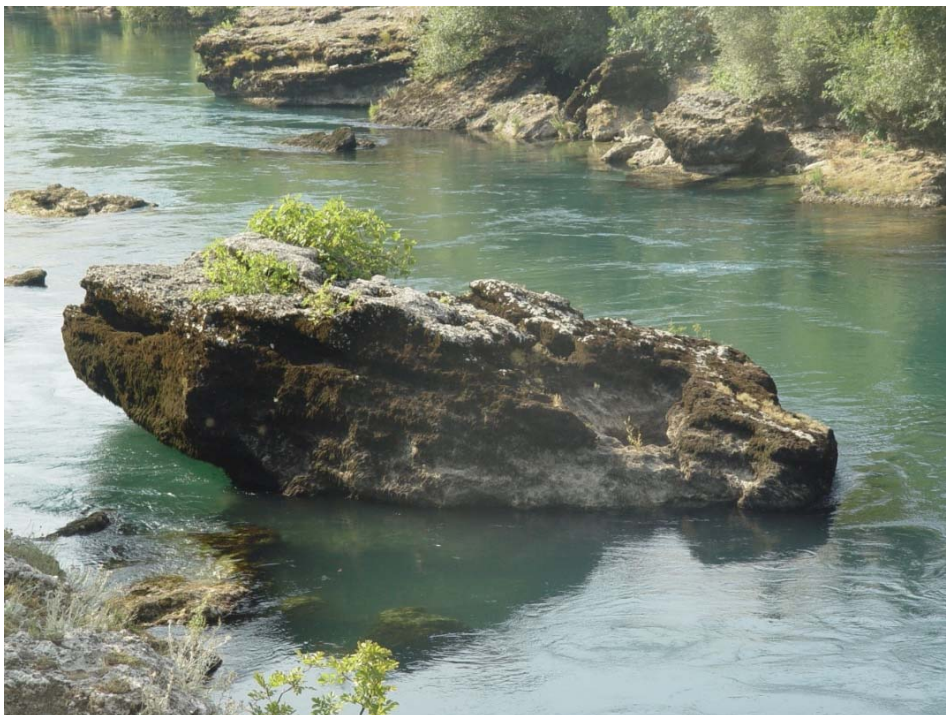
## Geotehničke karakteristike obale srednjeg toka rijeke Neretve kroz grad Mostar

### 3.2 Procesi djelovanja koji utječu na odlamanje obalne stijene

Potrebno je prije svega ukazati na utjecaj umora materijala, odnosno u ovom slučaju stijene, jer poznato je da periodično ponavljanje znatno manjih opterećenja, može također prouzročiti lom.

Dakako da je površinski sloj kamena zbog ostalih procesa znatno oslabljen, zbog čega napadna sila vala lakše lomi i otkida sitne čestice, te tako nastaje mikroabrazija koja kontinuirano i u duljem vremenskom periodu postaje uzrokom postupnog nestajanja dijelova stijene.

U današnjem toku rijeke, vide se ostaci takvih blokova (Slika 11). Blok ove riječne terase prirodni procesima je odvaljen.



Slika 11. Odlomni blok riječne terase u koritu rijeke [6]

Svi navedeni procesi koji se odvijaju u obalnim stijenama izloženi su utjecaju vode, valova, sunca, kiše, a vjerojatno rjeđe i mraza.

Prema Crnkoviću i Rokiću (1981.) naizmjeničnim zagrijavanjem i sušenjem vodosasićenog kamena slabi intergranularna veza i nastaju fizičke promjene u pornom prostoru kamena. Ove se promjene tumače stezanjem i rastezanjem kalcita pri zagrijavanju [5]. Ovako veliki pritisci mogući su vjerojatno samo u površinskom dijelu kamena koji je intenzivnije izložen toplotnom zagrijavanju. Stoga ovakvi utjecaji mogu imati snažno destruktivno djelovanje u razaranju obalnih stijena.

Potrebno je posebno istaknuti destruktivno djelovanje vjetrovnih valova kao periodične pojave u obliku hidrodinamičkog opterećenja prirodne vertikalne stijene.

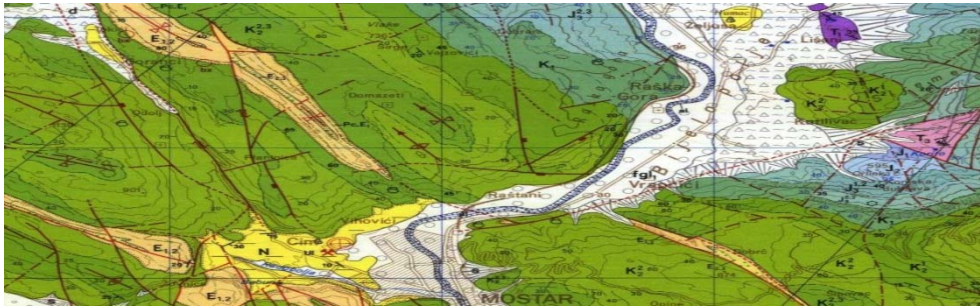
Ovo opterećenje ovisi o vrsti i brzini vjetra, visini i jačini valova, ali i o vrsti i morfologiji stijene.

Šunjić, G., Džeba, T., Prskalo, M.

## Geotehničke karakteristike obale srednjeg toka rijeke Neretve kroz grad Mostar

### 4. GEOLOŠKI PRIKAZ POSTANKA TERENA

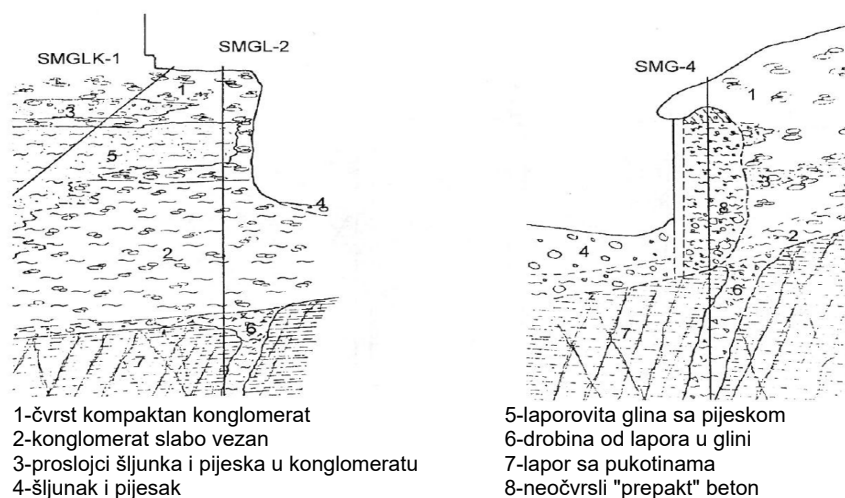
Stratigrafski stub regije kojoj pripada istraživana lokacija (Mostarska kotlina) počinje vapnenačkim stijenama gornje krede te donjeg i srednjeg eocena. One su uslojene do bankovite, izvrsnih geomehaničkih svojstava s formiranim stabilnim kosinama različitog nagiba, pa i preko 90 stupnjeva.



Slika 12. Isječak iz geološke karte Mostar - razmatrano područje

Riječne terase (riječni konglomerati i breče) razvijene su bliže tokovima rijeke u obliku bankova. U povlatnom dijelu banka često su vidljivi procesi degradacije i raspadanja a u podinskom dijelu brz prelazak u nevezani pjeskovito-šljunkoviti materijal. Podzemne vode se usmjeravaju upravo tim kontaktnim dijelovima. Pošto rijeka usijeca korito u riječne konglomerate, povećava se brzina filtracije vode u bokovima, te se nevezani materijal ispiru stvarajući karakteristične šupljine. Formirane podzemne šupljine izazivaju efekt konzole u riječnim terasama, te se one odvaljuju u obliku velikih blokova i padaju u korito rijeke.

Obzirom na fizičko-mehaničke odnosno inženjersko geološke značajke, ove naslage imaju raspon od šljunaka kao nevezanih sedimenata do čvrstih bankovitih konglomerata koji se odlikuju velikom čvrstoćom i kompaktnošću te se ponašaju kao krute stijenske mase. Između ova dva ekstrema je cijeli niz prijelaznih varijeteta ovisno o stupnju cementacije konglomerata i njihovoj debljini.



Slika 13. Presjek temeljnog tla sa čvrstim konglomeratima, Stari most, [1]

Šunjić, G., Džeba, T., Prskalo, M.

## Geotehničke karakteristike obale srednjeg toka rijeke Neretve kroz grad Mostar

Formirane podzemne šupljine izazivaju efekt konzole u riječnim terasama, te se one odvaljuju u obliku velikih blokova i padaju u korito rijeke (Slike 14 i 15), [7].



Slika 14. Podlokani sloj konglomerata sklon obrušavanju



Slika 15. Primjer intervencije

## 5. GEOMEHANIČKI OPIS TLA - STIJENE

Konglomerati na istraživanim terenima zadržavaju granulometrijske karakteristike te sastav i oblik zrna kao i šljunci okruženja, koji su sekundarnom cementacijom sa kalcij-karbonatnim vezivom, uz kompakciju i sabijanje, očvrstli u konglomerate različite čvrstoće, debljine slojeva i bočnog rasprostranjenja. Tekstura konglomerata je slojevita, a ovisno o stupnju cementacije nalazimo slojeve 20-50 cm pa do bankova debljine i do 5 metara.

Čvrsto vezani konglomerati kao čvrsta stijene se najispravnije klasificiraju prema nekoj od klasifikacija za stijenu, npr. RMR klasifikacija, uvažavajući kriterije jednoosne tlačne čvrstoće, RQD-a, stanja i orijentacije pukotinskih sustava te stanja podzemne vode. Prosječne vrijednosti za čvrsto vezane konglomerate se kreću u sljedećim vrijednostima:

- Jednoaksijalna čvrstoća (MPa) = 20-40
- RQD = 15-50

Odnosno:

- Zapreminska težina:  $\gamma$  (kN/m<sup>3</sup>) = 20-22
- Kohezija:  $c$  (kPa) = 100-200
- Kut unutr. trenja:  $\varphi$  (°) = >35
- Modul stišljivosti: praktično nestišljivo

## 6. ZAKLJUČAK

Konstatira se da je, uslijed djelovanja različitih čimbenika, stanje duž obale rijeke Neretve u gradu Mostaru, podlokavanje i obrušavanje stijenske mase, na pojedinim mjestima toliko uznapredovalo, da bi daljnje odgađanje sanacije, injektiranjem, sidrenjem, izgradnjom potpora od betona ili eventualnim zasipavanjem prirodnim kamenom po principu izgradnje lukobrana, moglo ozbiljno ugroziti stabilnost obale ali i materijalnih i ljudskih dobara.

Ovo istraživanje je i prigoda da se znanstveno bolje prouče riječne terase Neretve, u svom srednjem toku. Čini se kako je temeljna planetarna struktura njegove građe (veće zrno u sredini, a okolo njega manja zrna povezana kontaktnim cementom, asociraju na planet i sustav mjeseca) posljedica dvojakog porijekla zrna šljunka u riječnom aluviju, fluvioglacijalna i siparišna. Veća fluvioglacijalna zrela zrna šljunka vezala su na sebe manja poluzrela siparišna zrna (P. Marijanović).



**LITERATURA**

1. Ivanković, T., Langof, Z., Sigmund, V., Geotehnički problemi obnove Starog mosta u Mostaru, Zbornik radova Građevinskog fakulteta Mostar, 47-52
2. Mojičević, M., Laušević, M., Osnovna geološka karta SFRJ M 1:100000, List Mostar s Tumačem, Sav. geol. zavod, Beograd, 1973.
3. Prskalo, M., Geotehničko izvješće o stanju obala rijeke Neretve (lokacija Bunur) kroz grad Mostar s prijedlogom mjera sanacije i projektnim zadatkom, Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru, Mostar, 2013.
4. Prskalo, M. Džeba T., Zbirka riješenih zadataka iz Luke i pomorske građevine i Obalno inženjerstvo, Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru, ISBN 978-9958-16-113-1, Mostar, 2019.
5. Tomašić, I., Andročec, V., Utjecaj strukturno-petrografskih, hidrodinamičkih i ostalih čimbenika na trošenje stijena u temelju dubrovačkih zidina, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, Zagreb, 1991.
6. Geotehnički projekt temeljenja mosta na prelasku Ul. Kralja Tomislava preko rijeke Neretve u Mostaru, Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru, Mostar, 2008.
7. Uređenje lijeve obale rijeke Neretve nizvodno od postrojenja, HE Mostar, JP Elektroprivreda HZ HB d.d. Mostar, 2006.
8. Odluka o usvajanju prijedloga Regulacionog plana povijesnog gradskog područja Mostar za period od 2007. do 2017. godine
9. Ponovna izgradnja Starog mosta u Mostaru i obnova okolnih građevina, Građevinar 55 (2003.) 7, str. 414
10. Carl Peez, Mostar und sein Culturkreis, 1891., prijevod i objavljivanje Hercegtisak 2002., Crkva na kamenu
11. Glibić, M., Valja nama preko, Sveučilište u Mostaru 2016., ISBN 978-9958-16-059-2, COBISS.BH-ID 22981894, str. 30-48
12. Gilja, G., Kuspilić, N., Bekić, D., Utjecaj degradacije korita na sigurnost mostova, Cavtat 15.-17. studenog 2012., Sabor hrvatskih graditelja 2012.
13. Kuspilić, N., Autorizirana predavanja, Regulacija vodotoka, Fakultet GF Zagreb, 2009./2010.