

Mogućnosti primjene gabiona

Mrvoje Nevečerel, Kristina Pavešić, Iva Murgić, Ivica Papa, Matija Landekić,
Kruno Lepoglavec

NacrtaK – Abstract

Gabioni su žičane košare ispunjene kamenom, ali ispuna može biti i od drugoga materijala (cigla, drvo, ukrasno staklo). Počeci upotrebe takvih sustava sežu još u najranije civilizacije, a svoju su primjenu zadržali do danas. Tri su osnovna oblika gabiona: gabionska košara, gabionski madraci i vrećasti gabioni. Gabionske košare uglavnom služe (Brooks i Nielsen 1992) kao potporni ili ogradni zid, a rjeđe kao stabilizacija. Gabionski su madraci svojevrsni žičani »jastuci« ispunjeni kamenim materijalom koji služi za oblaganje riječnih korita, kanala, potoka i bujica radi regulacije vodenih tokova i sprečavanja erozije tla. Vrećasti gabioni (gabionske vreće) u posljednje se vrijeme najčešće upotrebljavaju pri radovima na učvršćivanju korita rijeka i podnožja nasipa. Gabioni danas služe u mnogim područjima ljudske djelatnosti, a najvažniji je doprinos zaštitna funkcija pri regulaciji vodotokova i pokosa na cestama. Stabilizacija i utvrđivanje nasipa gabionima potvrđuje njihovu široku primjenu. Dodatan je doprinos i njihova dekorativna funkcija zbog koje se upotrebljavaju pri uređenju okoliša. Zbog široke mogućnosti primjene gabione danas priznaje većina inženjera diljem svijeta kao standardni građevinski materijal. Prednosti i nedostaci primjene gabiona polazna su točka u njihovoj upotrebi te poticaj za daljnja istraživanja.

Ključne riječi: gabioni, zaštita pokosa, gospodarska cesta manje nosivosti, uređenje okoliša, upravljanje vodenim tokovima

1. Uvod – Introduction

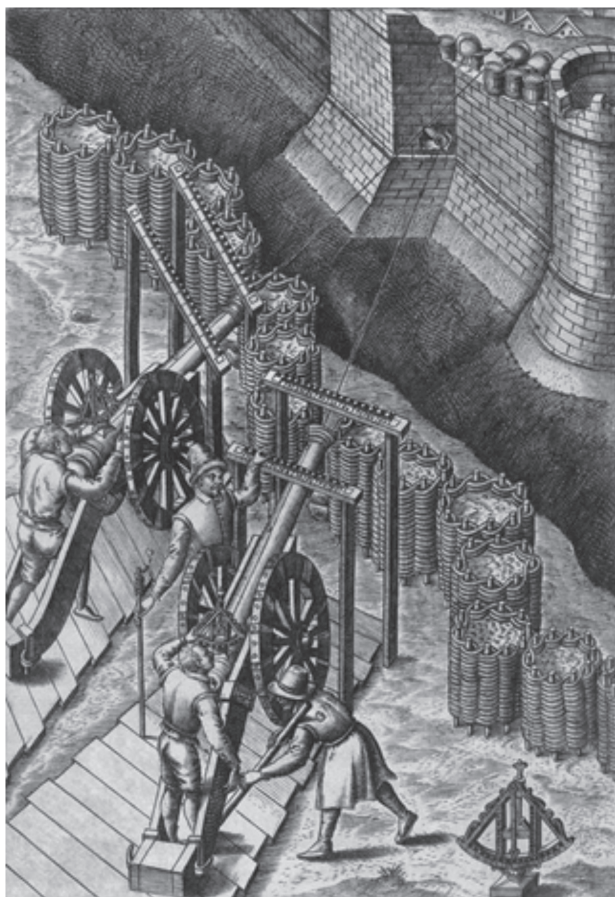
Gabion (od talijanskoga *gabbione*, što znači »veliki kavez«) znači kavez, cilindar ili kutija ispunjena kamenjem, pijeskom ili zemljom. Koristi se u građevinarstvu, cestogradnji i uređenju okoliša, a ima i vojnu primjenu (slika 1).

U svojoj su osnovnoj ideji gabionske strukture izrađene od zavarene žičane rešetke (Hilfiker 1991) spojene u cjelinu i raspoređene pod određenim kutom. Rešetke su međusobno učvršćene tako da omeđuju volumen.

Gabioni (slika 2) dolaze u tri osnovna oblika (Freeman i Fischenich 2000): gabionska košara, gabionski madraci i vrećasti gabioni. Sve tri vrste sastoje se od žičanih mrežastih košara i ispune. Ispuna se obično sastoji od kamenoga materijala, ali je moguća i upotreba drugoga materijala (npr. cigla, drvo, ukrasni kamen). Razlike su između gabionskih košara i madraca

u debljini i opsegu. Madraci su plići i konstruirani tako da zaštite korita i nasipe od erozija. S druge strane, gabionske košare služe za zaštitu nasipa tamo gdje madraci nisu dostatni ili služe pri stabilizaciji padina, litica i ostalih struktura. Vrećasti je gabion načinjen od pocinčanoga, dvostruko namotanoga šesterokutnoga pletiva, a ispuna je od šljunka. Ako jedno oko mreže pukne, dvostruki pletter sprečava daljnje pucanje pletiva i rasipanje šljunka. Korisni su zato što su ispunjeni kamenjem koje bi pojedinačno bilo premaleno da izdrži snagu erozije. Gabioni se mogu tvoriti (Matešić 2012) od šesterokutnoga čeličnoga pletiva, zavarenih čeličnih mreža, prednapregnutoga PEHD i polipropilenske trake s otvorima i rebrima.

Gabione danas priznaje (Berney i dr. 2001) većina inženjera diljem svijeta kao standardni građevinski materijal. Projektanti (Brooks i Nielsen 1992) imaju širok izbor veličina gabionskih struktura, teksture i boje ispune te konfiguracije koje nude razni proizvođači.



Slika 1. Topovski položaji u XVI. stoljeću (Izvor: *Le diverse et artificiose machine del capitano Agostino Ramelli*, str. 708)

Fig. 1 Cannon emplacements in the XVI century (Source: *Le diverse et artificiose machine del capitano Agostino Ramelli*, 708 p.)

2. Povijest nastanka i prve upotrebe gabiona – *An account of the development and the first use of gabions*

Povijest se gabiona (Klingeman i dr. 1984) može pratiti od antike. Egipćani su se koristili strukturama poput gabiona (Bekaert 1977) prilikom izgradnje nasipa duž Nila oko 5000. godine pr. Kr. Kinezi su slične strukture upotrebljavali uzduž rijeke Hoangho oko 1000. godine pr. Kr. U svojim deset knjiga o arhitekturi, napisanih oko 20. pr. Kr., rimski arhitekt Vitruvije opisao je upotrebu gabiona kao privremene brane, odnosno pregrade. Julije Cezar također se koristio njima za privremene utvrde tijekom svoje kampanje u Galiji. Prvotni su gabioni bili tkani od biljnih vlakana.

Kao što je vidljivo iz prethodnih radova, prije 1879. godine gabioni su izrađivani (Freeman i Fischenich 2000) od biljnoga materijala, što je ograničavalo njihov

korisni vijek trajanja. Smatra se da je oko 1879. godine, i to u Italiji, prvi put upotrijebljena žičana mreža u izradi gabionskih košara. To je vjerojatno prva upotreba moderne žičane mreže (košare), koja se upotrebljava i danas. U prilog tomu i Sublette (1979) navodi primjer izgradnje »modernim gabionima« 1894. godine (slika 3) u blizini grada Casalecchio di Reno (Italija). Takva gabionska struktura od žičane mreže još i danas funkcionira na odgovarajući način (Agostini i dr. 1971). To pokazuje kako pravilno održavana gabionska struktura može imati dug životni vijek.

3. Problematika istraživanja – *Scope of research*

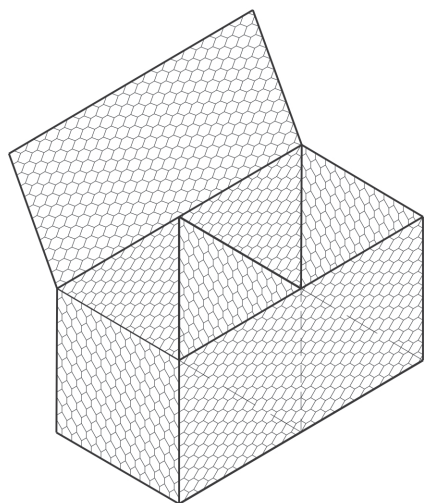
U drugoj polovici prošloga stoljeća izrađeno je mnoštvo projekata i studija (Simons i dr. 1984) o korisnosti gabiona u različitim vrstama namjene. Tako su Roth (1977), Velut i dr. (1977), Schuster (1974), Stephenson (1980), U. S. Forest Service (1979) i Burroughs (1979) prikazali osnovnu primjenu, glavne projekte, općenitu provedbu i studije slučaja različitih vrsta gabionskih struktura.

Brown je (1979) istraživao upotrebu gabionskih obloga za zaštitu nasipa s obzirom na teorijske i eksperimentalne aspekte i na prototipove. I drugi su autori (Lavagnino 1974, Oswald i dr. 1975, Keown i dr. 1977, Michel 1977, Pernier 1977, Götz 1978, Oswald i Maynord 1978) istraživali primjenjivost različitih vrsta gabiona pri zaštiti i povećanju stabilnosti nasipa, odnosno smanjenju erozijskih procesa.

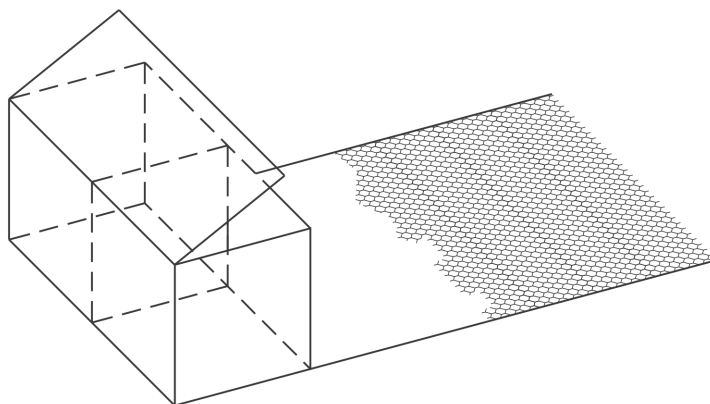
U cestogradnji su mnogobrojni autori istraživali mogućnosti upotrebe gabionskih struktura. Leydecker je (1973) razvio metodu postavljanja gabiona na prijelazima makadamskih cesta i manjih vodenih tokova, što se pokazalo i ekonomski i estetski prihvatljivim. Na gospodarskim cestama gabioni služe za stabilizaciju (Transportation Research Board 1979, Marwa i Kimaro 2005) ili se kameni materijal (Mulmi 2009) pri izgradnji i rekonstrukciji cesta može upotrijebiti za izradu gabiona kao lokalni materijal. Jedan od pristupa rješavanju problema klizišta na autocestama upravo je upotreba gabiona. Royster (1975) raspravlja o različitim načinima primjene geotehnike u kombinaciji s gabionima za ublažavanje problema stabilnosti klizišta. Novi pristup u razvoju (Park i dr. 2008 i 2009) boljega ekološkoga potencijala zasjeka šumskih cesta ističe se prednošću sprečavanja erozije gabionskim strukturama s vegetacijom. Webster i Watkins (1977) istražuju otpornost gabionskih struktura za prilazne ceste, preko slabo nosivih tala, pri izgradnji mostova.

Obalno inženjerstvo koristi se gabionskim strukturama pri projektiranju objekata za zaštitu obale.

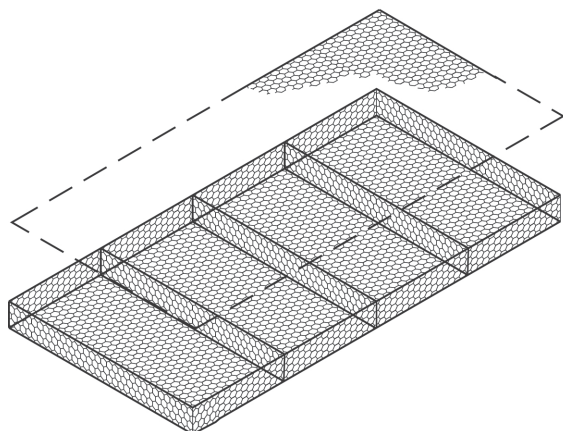
Shematski prikaz gabionske košare
The design concept of gabion box



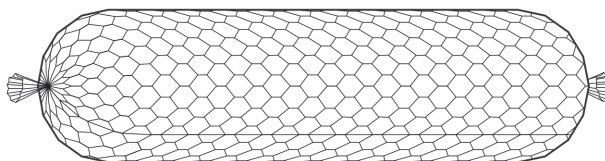
Shematski prikaz gabionske košare s armiranom pločom
The design concept of box-shaped gabion with a reinforced plate



Shematski prikaz gabionskog madraca
The design concept of mattress



Shematski prikaz vrećastog gabiona
The design concept of gabion sack



Slika 2. Tri osnovna oblika gabiona
Fig. 2. Three basic forms of gabions

Tako Chisholm (1976) opisuje upotrebu gabiona kao sekundarne zaštite duž obale Novoga Zelanda, a slična se primjena nalazi na obali jezera Huron (Quigley i dr. 1974). U obalnim područjima s izraženim djelovanjem plime gabioni su prijeko potreban element u stabilizaciji (Morais i dr. 2004), osobito u razdobljima najvećega utjecaja plime. Još jedna praktična primjena gabiona (Ground Engineering Magazine 1976) pojavljuje se pri stabilizaciji obala jezera i oborinskih slivova u urbanim područjima.

Gabionske strukture nalaze primjenu u istraživanjima poboljšanja i mijenjanja tokova radi očuvanja ihtiofaune u rehabilitaciji staništa. Njihova relativna učinkovitost i utjecaj na biokemijski sastav tokova promjenjiva je u istraživanjima koja su proveli Maughan i dr.



Slika 3. Vrećasti gabioni u Casalecchio di Reno
Fig. 3 Bag gabions in Casalecchio di Reno

(1980), Cooper i Wesche (1976), Bradt i Wieland (1978), Barton i Winger (1973). Primjer učinkovite upotrebe gabiona prilikom sprečavanja migracije mladih lososa u more opisali su McSwain i Schmidt (1976).

Gabionske su strukture također bile predmet mnogih istraživanja (Beier i dr. 2015, Defrance i dr. 2014, Koussa i dr. 2013, Harmelink i Hajek 1973) kao prepreke koje smanjuju razinu buke u urbanim sredinama, a ujedno su i dobro uklopljene u urbana područja. Također su gabioni, radi smanjenja razine buke, proučavani (Van Renterghem 2015) u kombinaciji s drugim prirodnim materijalom, uključujući i vegetaciju. Osnovna ideja upotrebe lokalnoga materijala zadržana je u obnovi urbanih sredina (Dam 2010) pri čemu je kao lokalni materijal upotrijebljena stara cigla kao ispunja gabiona. Nadalje, Elinç i dr. (2013) ističu primjenu ozelenjavanja gabiona čime se značajno povećava estetska i povijesna vrijednost urbanih sredina Mediterana.

4. Općenita primjena gabiona – *General application of gabions*

Iz navedenih istraživanja moguće je sintetizirati širok spektar primjene gabiona i gabionskih konstrukcija. Tako se gabioni koriste u mnogo slučajeva. Navest ćemo neke podjele zbog boljšega razumijevanja cjelokupne problematike.

Klingeman i dr. (1984) navode da gabioni služe prilikom usmjeravanja riječnih korita i obrane od poplava, kao obloge kanala, potporni zidovi, upornjaci mostova, pri izgradnji marina i rampa za brodove, za

oblaganje uljevnoga i izljevnoga dijela propusta te zaštitu obala i plaža.

Gabioni su korišteni u cijelom svijetu kao elementi zida (Kandaris 1999) za kontrolu erozije, melioraciju tla, potporne konstrukcije i uređivanje vodenih tokova.

Izgradnja gabiona slijedi određene utvrđene norme (Matić 2009), a gabioni se upotrebljavaju pri:

- ⇒ utvrđivanju obala rijeka i oštećenih nasipa
- ⇒ izgradnji cesta
- ⇒ stabilizaciji odrona zasjeka i usjeka te zaštiti cesta uz primjenu visoko otpornih mreža
- ⇒ zaštiti naselja na nagnutim terenima
- ⇒ hidrotehničkim radovima na šumskom i poljoprivrednom zemljištu, odnosno za unaprjeđenje kanala
- ⇒ izgradnji objekata za stabilizaciju nagiba te održavanje tih objekata – isušivanje nagnutih šumskih i poljoprivrednih terena
- ⇒ potpori brana u upravljanju tokova rijeka i bujica
- ⇒ u slivovima za zaštitu protuerozijskih biljnih vrsta *Salix*, *Pinus*, *Rubus* itd.

4.1 Primjena gabiona pri radovima na vodenim tokovima – *The use of gabions in watercourse works*

Zahvaljujući svojoj otpornosti, fleksibilnosti i elastičnosti gabionske su strukture prikladne za učvršćivanje i izgradnju obala vodenih tokova (Evette i dr. 2009) kao što su izravnavanje riječnoga korita ili njegovo novo usmjeravanje, izgradnja umjetnih ustava,



Slika 4. Uređenje vodenih tokova gabionima

Fig. 4 Arrangement of watercourses by gabions

ustavnih jezera itd. Sposobnost upijanja sedimenata i smanjenje hidrostatičkoga potiska gabione čini nezamjenjivim u učvršćivanju obala vodenih tokova (rijeka, potoci, bujice).

Brane su poprečne konstrukcije (Berney 2001) koje mogu ukloniti opasnost od erozije tekućica posebice u njihovim gornjim dijelovima. One također smanjuju ukupnu količinu nanosa u donjim tokovima. Kako bi se povećala stabilnost i zaštitila gabionska mreža, vrh se brane prekriva slojem armiranoga betona. U nekim slučajevima, kada je potrebno smanjiti erozijsko djelovanje prigušenoga toka vode (McIntyre i dr. 1992), u smjeru doline prije same brane gradi se protubrana kojom se dobiva bazen u kojem se tijekom vode smiruje. Prednost gabionskih struktura jest u tome da se one i naknadno mogu vrlo lako nadograditi. To se postiže preinakom profila poprečnoga presjeka, pri čemu postojeći dijelovi brane ostaju nepromijenjeni.

Upotreba gabionskih madraca (Maynord 1995) vrlo je korisna za učvršćivanje obala rijeka i kanala zbog njihove fleksibilnosti. Njima se mogu ograničiti filtracijski pomaci vode između kanala i okolnoga tla, čime se poboljšava stabilnost obale, a štiti se i obala i korito rijeke od erozije. Učvršćivanje obala vodenih tokova pomoću gabionskih madraca mogu se izvoditi u bilo kakvim vremenskim uvjetima – za suhih razdoblja, pa čak i pod vodom.

Upotreba gabiona pri sanaciji rijeka osobito je učinkovita i ima niz prednosti, koje se mogu sažeti u sljedeće:

- ⇒ mogućnost jednostavnoga i brzoga djelovanja u svim klimatskim i ekološkim uvjetima
- ⇒ stvaranje fleksibilnih i elastičnih konstrukcija prilagodljivih gibanjima tla koje smanjuju opterećenja hidrostatičkoga tlaka vode
- ⇒ velika otpornost na oksidacijske procese upotrebom PVC pletiva.

Gabioni često služe (Tappel 1986) za poboljšanje vodenih staništa i obnovu (Klassen i Northcote 2011) oštećenih staništa riba u tokovima niskoga protoka. Međutim, gabioni ne bi trebali biti instalirani okomito na tok strujanja, ako se očekuje brzina vode veća od 1,5 m/s. Ta bi preporuka, pri većim brzinama vode te izostankom upotrebe gabiona, olakšala prolazak riba na slapovima i kaskadama.

4.2 Primjena gabiona pri radovima na cestama

The use of gabions in roadworks

Gabioni su potporne konstrukcije od nasutoga materijala, a žičane su košare gabiona ispunjene šljunkom ili kamenom (Nonveiller i dr. 1979). Žičane su košare načinjene od pocinčane čelične žice koja je pojačana na rubovima okvirom od okrugloga čelika. Prazne se



Slika 5. Slaganje gabionskoga obložnoga zida

Fig. 5 Construction of gabion retaining wall

košare slažu na mjesto gdje se podiže zid, a potom se ispune, zatvore i vežu. Taj se postupak ponavlja do projektirane visine. Takvi su zidovi vrlo prikladni za stabilizaciju manjih klizišta uz ceste jer se mogu izvoditi na kratkim dionicama, a time se izbjegava dodatni poremećaj već nestabilne kosine.

Upotreba je gabionskih konstrukcija (Transportation Research Board 1979, Marwa i Kimaro 2005) iznimno učinkovito rješenje za zaštitu cesta. Potporni zidovi od gabiona kao izravna potpora nasipa ceste ili kao zaštita pokosa zasjeka (usjeka) iznad ceste imaju ova važna svojstva:

- ⇒ elastičnost gabionskih struktura omogućuje povećanu prilagodljivost gibanjima tla
- ⇒ vodopropusnost zbog smanjene zbijenosti ispunje pruža učinkovitu drenažu
- ⇒ mogućnost nadogradnje u visinu i širinu ne remeti funkcionalnost postojeće konstrukcije.

Ovisno o primjeni pri radovima na cestama, razlikujemo gabionske zidove ispod ceste (potporni zid) i iznad ceste (obložni zid). Također je moguća i stabilizacija donjega ustroja šumskih (Leydecker 1973) i pristupnih cesta manje nosivosti (Webster i Watkins 1977), kao što je opisano u prethodnom dijelu ovoga rada.

Promatramo li sustav odvodnje na cestama, gabione položene u svojstvu obloga i zaštite ispod propusta (Klassen i Northcote 2011) trebalo bi postaviti nizvodno od propusta.

4.3 Primjena gabiona pri uređenju okoliša – *The use of gabions in landscaping*

U uređenju okoliša gabioni (Liu i dr. 2012) vrlo se često upotrebljavaju kao obložni zidovi, a nešto rjeđe

kao potporni zidovi, i to osobito na nagnutim terenima. Gabionski zidovi služe za stabilizaciju tla, pružaju odličnu drenažu i pomoć u rješavanju mnogih drugih problema.

Gabionske je zidove moguće koristiti i kao zaseban zid ili ogradu (Sauter 2010) jer imaju brojne prednosti: nude pouzdanu zaštitu od buke, privatnost, mogu služiti kao zaštita od vjetera i atraktivnoga su dizajna. Nadalje, materijal se ispune lako prevozi, što znači manje utrošenoga vremena pri izgradnji, čime se ostvaruje i financijska ušteda. Postoje brojni načini za primjenu gabionskih zidova u krajoliku parka ili vrta. Gabionski zid može lako postati ukrasni element. Može se koristiti kao ograda, klupa, cvjetnjak, kao vodeni element (fontana, kaskada ili obrub jezerca ili bare), pa čak i kao vanjski kamin.

Okolišna prihvatljivost gabiona i sposobnost kombiniranja (Ganea 2014) s drugim materijalom pridonose rastu njihove popularnosti. Gabioni se mogu kombinirati s drvom, kovinama, betonom ili bilo kojom zelenom ogradom. Kao ispuna gabionskih košara mogu se koristiti različite vrste stijena i ukrasnoga kamenja u raznim kombinacijama. Stijene i kamenje najčešća su ispuna (Kremy 2014) gabiona jer ispunjavaju kriterije izdržljivosti, dugotrajnosti i stabilnosti. Kada je gabionski zid zamišljen kao dekorativni element, moguće je odabrati ispunu visoke estetske vrijednosti. Takvi ukrasni zidovi mogu biti ispunjeni cjepanicama, šljunkom, šarenim staklom, školjkama, starom opekama ili keramikom, borovim češerima ili slamom.

Kameni zidovi (Francis i Hoggart 2009) s površinskim pukotinama i heterogene zidne površine (poput gabiona) pogodni su za sadnju autohtone vegetacije, pri čemu je heterogena zidna površina također važan pejzažni element uređenja prostora. Iskustvo je poka-

zalo (Assembly Manual 2012) kako je ozelenjavanje gabionskih konstrukcija najuspješnije ako je integrirano u ranoj fazi projektiranja. Ozelenjavanje ne treba poduzimati kao naknadnu građevinsku aktivnost.

Landis i dr. (2005) ističu kako inženjerske strukture poput gabiona otežavaju obnovu vegetacije, ali su ipak osmislili i primijenili učinkovit način njihove vegetacijske obnove. Beikircher i dr. (2010) zaključuju da su slobodno stojeći zasađeni gabioni alternativna tehnika pri obnovi i osiguranju kritičnih dijelova strmih padina. Prekondicioniranje biljnoga materijala koji se koristi za obnovu lokaliteta sklonih suši može povećati otpornost na sušu nekih biljnih vrsta. Odabir je biljaka određen lokacijom (Kopčić 2012) na koju se postavlja gabionski zid. Ako je riječ o urbanoj sredini, koristit će se ukrasne kultivirane vrste.

Gabionski zidovi sve se više podižu (Nash 2014) u poslovnim i stambenim naseljima kao estetsko-zaštitni elementi ili kao postupak recikliranja šute (ili cigle) radi očuvanja autohtonosti prostora.

5. Održavanje gabionskih konstrukcija *Maintenance of gabion constructions*

Održavanje gabiona (Freeman i Fischenich 2000) odnosi se na provjeravanje mreže kako ne bi bilo slomljenih žica pri čemu postoji mogućnost gubitka ispune. Sve objekte koji se naslanjaju na gabione potrebno je ukloniti da se gabioni ne bi oštetili. Ako na vrhu gabionskih konstrukcija dolazi do erozije, potrebno je poduzeti adekvatne mjere kako se ne bi urušile. Mnogi su autori istraživali opterećenja na gabionske konstrukcije (Yang i Shen 2015) i njihovu trajnost koja izravno utječe na troškove eventualnoga održavanja.



Slika 6. Primjeri primjene gabiona u uređenju okoliša

Fig. 6 Examples of application of gabions in landscaping

6. Rasprava sa zaključcima – Discussion with conclusions

Prednosti gabiona leže u tome što osiguravaju dobro dreniranje tla iza konstrukcije, a njihova fleksibilnost omogućuje primjenu u tlima nejednolike krutosti, koja inače mogu izazvati probleme krutim zidovima. Zidovi od nasutoga materijala dobro se uklapaju u okoliš, jer ispuna (Brooks and Nielsen 1992) u košarama izgleda prirodno. Nedostatak je što punjenje kamenom zahtijeva mnogo ručnoga rada, koji je u današnje vrijeme skupo.

Prednosti su upotrebe (FAO 1998) gabiona: jednostavna izgradnja, nekvalificirani ih radnici mogu postaviti uz odgovarajući nadzor, jeftini su, kameni je materijal dostupan na mnogim mjestima u blizini gradilišta, potrebno je kupiti samo žičane mreže i prevesti ih na gradilište, vrijeme je izgradnje kratko, vrlo su izdržljivi, otporniji su u odnosu na vezivno sredstvo zida zbog fleksibilnosti, brza odvodnja povećava posmičnu čvrstoću tla i smanjuje opasnost od erozije zaštićenih objekata, prirodno ozelenjavanje gabione čini još stabilnijima te se uspješno integriraju u okoliš.

Gabioni imaju mnoge prednosti (Kandaris 1999) u odnosu na drugi materijal, kao što su: jednostavnost instalacije, prilagodljivost teškim lokalitetima, upotreba lokalnoga materijala za ispunu, izgradnja pomoću relativno nekvalificiranih zaposlenika, fleksibilnost, lako održavanje, poroznost, ekonomičnost, prirodni izgled – može se lako zazeleniti. Thorburn i Smith (1985) nakon testiranja opterećenja opisuju nedostatke visokoga (8 m) zida od gabiona, izgrađen u podnožju vrlo strmoga zasjeka, te daju preporuke za izradu projekata sličnih situacija. Deformacijske je aspekte (Nimbalkar i dr. 2006), s obzirom na visinu gabionskih konstrukcija (Jayasree i Beena 2011), potrebno sagledati preko vijeka trajanja, što je novi trend u projektiranju i održavanju gabionskih zidova. Očite su prednosti (Burroughs 1979) upotrebe gabiona s obzirom na njihovu fleksibilnost, snagu, trajnost, propusnost, uređenje okoliša i ekonomičnost. Glavni nedostaci mogu biti u slučaju poddimenzioniranosti, estetskih razloga, utjecaja mreže na ihtiofaunu i puknuća mreže zbog abrazije.

Glavne prednosti gabionskih konstrukcija općenito su:

- ⇒ dugi vijek trajanja
- ⇒ elastičnost konstrukcija
- ⇒ velika otpornost na atmosferske utjecaje
- ⇒ neograničena mogućnost oblikovanja u prostoru
- ⇒ dobra ekološka svojstva
- ⇒ mala potrošnja materijala
- ⇒ brzo postavljanje i smanjena potreba za održavanjem

- ⇒ ne postoji problem odvodnjavanja gabionske konstrukcije
- ⇒ temeljenje se ne mora raditi do dubine smrzavanja
- ⇒ moguća je upotreba otpadnoga ili recikliranoga materijala
- ⇒ mogućnost izvođenja radova u zimskim mjesecima
- ⇒ visoka dekorativna vrijednost odabranih ispuna
- ⇒ mogućnost kombiniranja s drugim materijalom u uređenju okoliša.

Glavni nedostaci gabionskih konstrukcija općenito su:

- ⇒ ozelenjavanje je dugotrajan proces
- ⇒ stabilnost opada s visinom konstrukcije
- ⇒ pomanjkanje stručnoga nadzora pri izgradnji
- ⇒ vrijeme ručnoga rada povećava troškove
- ⇒ neadekvatno postavljene gabionske konstrukcije mogu utjecati na ihtiofaunu
- ⇒ subjektivna estetska neprihvatljivost.

Primijenjen je inženjerski pristup koji se zasniva na promišljanju stručnjaka, prilagodbi okolišu i racionalizaciji troškova. Uređenje vodenih tokova stalnoga i iznenadnoga karaktera uspješno se tisućama godina rješava u kombinaciji gabionskih konstrukcija s drugim poznatim rješenjima. Tehničke mjere zaštite cestovnih objekata, klizišta i smanjenje utjecaja erozije preduvjet su implementaciji bioloških metoda koje dodatno pomažu u rješavanju problema diljem svijeta. Funkcionalnost je primijenjenih tehnika neupitna, ali je naša obaveza praćenje stanja primijenjenih konstrukcija kako bi pravovremenim postupcima umanjili moguće štete i nadogradili postojeća znanja. Prilagođavanje sve većim ekološko-estetskim zahtjevima, osobito u urbanim sredinama, potiče stručnjake i znanstvenike na dodatan napor pri odabiru tehnički prihvatljivih inovacija. Nadogradnja je moguća u svakoj od opisanih djelatnosti, a konačan se rezultat temelji na sintezi širokoga spektra mogućnosti razvoja u svim interesnim sferama pripadajućih djelatnosti.

7. Literatura – References

- Agostini, R., T. A. G. Bristow, R. Mazzotti, G. Lunardi, F. Mazzini, 1971: Maccaferri Gabions. S.p.A. Officine Maccaferri, Bologna, Italy, 1–143.
- Assembly Manual, 2012: Gabion Structures. Maccaferri SA (Pty) Ltd, Durban, South Africa. 1–6.
- Barton, J. R., P. V. Winger, 1973: Rehabilitation of a channelized river in Utah in Hydraulic Engineering and the Environment. Proceeding of the 21st Annual Hydraulic Division Specialty Conference, Montana State University, Bozeman.

- Beier, M., T. Lölgen, M. Starnberg, 2015: Innovative measures for reducing noise radiation from track. *Noise and Vibration Mitigation for Rail Transportation Systems*, 126: 173–180. DOI: 10.1007/978-3-662-44832-8_23.
- Beikirchera, B., F. Florineth, S. Mayr, 2010: Restoration of rocky slopes based on planted gabions and use of drought-preconditioned woody species. *Ecological Engineering*, 36(4): 421–426.
- Bekaert Steel Wire Corp., 1977: Bakaert Gabions. Form No. 6: 1–12.
- Berney, O., J. Charman, L. Kostov, L. Minetti, J. Stoutedijk, D. Tricoli, 2001: Small Dams and Weirs in Earth and Gabion Materials. AGL/MISC/32/2001, FAO, Rome, 1–172.
- Burroughs, M. A., 1979: Gabions: Economical, Environmentally Compatible Bank Control. *Civil Engineering–ASCE*, 49(1): 58–61.
- Bradt, P. T., G. E. Wieland, 1978: The impact of stream reconstruction and a gabion installation on the biology, and chemistry of a trout stream. *National Tech, Information Service, Springfield*, 1–122.
- Brooks, H., J. P. Nielsen, 1992: Basics of Retaining Wall Design. HPAPublications, 10th Edition, Newport Beach, California, 1–246.
- Brown, C. T., 1978: Gabions and reno-mattresses as low cost terminal revetments, in *Managing the coast. 4th Austr. Conf. Coastal and Ocean Eng., Adelaide. Barton Inst. of Engineers, Australia*, 222–223.
- Chisholm, D. H., 1976: Wellington Airport Extension – additional sea protection. *New Zealand Engineering*, 31(5): 157–161.
- Cooper, C. O., T. A. Wesche, 1976: Stream channel modification to enhance trout habitat under low flow conditions *Nat. Tech. Information Service, Springfield*.
- Dam, T., 2010: Texture on site-Findings on natural stone and paving. Abstract from *As Found; World in Denmark Conference, Frederiksberg, Denmark*.
- Defrance, J., P. Jean, F. Koussa, T. Van Renterghem, J. Kang, J. Smyrnova, 2014: Innovative barriers. *Environmental methods for transport noise reduction*, 19–47.
- Freeman, G. E., J. C. Fischenich, 2000: Gabions for stream-bank erosion control. ERDC TN-EMRRP-SR-22, Vicksburg, MS: U. S. Army Engineer Research and Development Center, 1–9.
- Elinç, Z. K., L. G. Kaya, H. M. Danacı, I. Baktir, R. S. Göktürk, 2013: Use of outdoor living walls in Mediterranean-like climates: A case study of Antalya Kaleiçi. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 11(1): 687–692.
- Evette, A., S. Labonne, F. Rey, F. Liebault, O. Jancke, J. Girel, 2009: History of bioengineering techniques for erosion control in rivers in Western Europe. *Environmental Management*, 43(6): 972–984.
- FAO, 1998: A Manual for the Planning, Design and Construction of Forest Roads in Steep Terrain, 1–188.
- Francis, R. A., S. P. G. Hoggart, 2009: Urban river wall habitat and vegetation: Observations from the River Thames through central London. *Urban Ecosystems*, 12(4): 468–485.
- Ganea, S., 2014: Gabion Walls – What They Are And How To Use Them In Your Landscape. HomeEdit – Interior design & Architecture. <http://www.homedit.com/gabion-walls/>.
- Götz, W., 1978: Stabilization of river banks in semi-arid regions. *Wasserwirtschaft*, 68(5): 147–154.
- Harmelink, M. D., J. J. Hajek, 1973: Performance testing of freeway noise barriers. *ASCE Journal of Transportation Engineering*, 99(1): 123–138.
- Hilfiker, W. K., 1991: Welded wire component gabions and method of making the same and construction soil reinforced retaining walls therefrom. U.S. Patent No. 5076735.
- Jayasree, P. K., K. S. Beena, 2011: Geometric parametric studies on reinforced soil gabion walls. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers–Ground Improvement*, 164(1): 21–32.
- Kandaris, P. M., 1999: Use of gabions for localized slope stabilization in difficult terrain. *The 37th U.S. Symposium on Rock Mechanics (USRMS)*, 7–9 June, Vail, Colorado, 1–8.
- Keown, M. P., E. Dardeau, N. R. Oswalt, E. B. Perry, 1977: Literature survey and preliminary evaluation of streambank protection methods. U.S. Army Engr. Waterways Exp. Stn., Vicksburg.
- Klassen, H. D., T. G. Northcote, 2011: Use of gabion weirs to improve spawning habitat for pink salmon in a small logged watershed. *North American Journal of Fisheries Management*, 8(1): 36–44.
- Klingeman, P. C., S. M. Kehe, Y. A. Owusu, 1984: Streambank erosion protection and channel scour manipulation using rockfill dikes and gabions. Technical Report WRRI-98, Water Resources Research Institute, Oregon State University, Corvallis, 1–169.
- Kopčić, A., 2012: Važnost i neophodnost bioinženjerskih metoda u rješavanju problema erozija i klizišta tla. *Tehnički glasnik*, 6(2): 199–201.
- Koussa, F., J. Defrance, P. Jean, P. Blanc-Benon, 2013: Acoustic performance of gabions noise barriers: numerical and experimental approaches. *Applied acoustics*, 74(1): 189–197.
- Kremy, 2014: Gabion wall – how to use it in the garden landscaping? *Minimalisti. The interior design blog, Home & Garden*, <http://www.minimalisti.com/garden-landscape/03/garden-landscaping-ideas-gabion-wall.html>.
- Landis, T. D., K. M. Wilkinson, D. E. Steinfeld, S. A. Riley, G. N. Fekaris, 2005: Roadside revegetation of forest highways: new applications for native plants. *Native Plant Journal*, 6(3): 297–304.
- Lavagnino, S., 1974: Gabions guard river banks against 50,000 cfs flow. *ASCE Civil Engineering*, 44(5): 88–89.
- Leydecker, A. D., 1973: Use of gabions for low water crossings on primitive or secondary forest roads. U.S. Forest Service, *Field Notes*, 5(5–6): 1–136.
- Liu, Z., G. L. Yang, C. Sheng, J. N. Xu, 2012: Reinforced earth retaining wall of green gabion by field test. *Journal of Central South University (Science and Technology)*, 2: 709–716.
- Maynard, S. T., 1995: Gabion-mattress channel-protection design. *Journal of hydraulic engineering*, 121(7): 519–522.
- Marwa, E. M. M., D. N. Kimaro, 2005: Geomorphological mapping for route selection and road construction at lower

- Kihansi in Tanzania. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 64(4): 333–339.
- Maughan, O. E., K. L. Nelson, J. J. Ney, 1978: Evaluation of stream improvement practices in southeastern trout streams. Oklahoma Coop. Fisheries Research Unit, Water Resources Research Center, Stillwater.
- Matešić, L., 2012: Geotehničke konstrukcije. Potporne konstrukcije. Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet Rijeka, ppt.
- McIntyre, C., G. Aron, J. H. Willenbrock, M. Demler, 1992: Analysis of Flow through Porous Media as Applied to Gabion Dams Regarding the Storage and Release of Storm Water Runoff. Report No. 10, HRC Research Series. NAHB/NRC Designated Housing Research Center at Penn. State, Pennsylvania State University, PA, 1–12.
- McSwain, K. R., R. E. Schmidt, 1976: Gabions, perforated pipe and gravel serve as fish screens. *ASCE, Civil Engineering*, 46(5): 1–73.
- Merriam-Webster: <http://www.merriam-webster.com>
- Michel, G., 1977: Experience gained at the Service de navigation du nord related to bank protection, in “La defense des berges, des canaux et rivières”, R. Tenaud (ed). Paris, École Nat. Ponts Chaussées, Assoc. Amical Ing. Anciens Élèves, 57–65.
- Morais, J. O., L. S. Pinheiro, C. Medeiros, E. S. Pitombeira, 2004: Gabions for the Protection of Caponga Beach, Ceará Brazil: Hazards and Management. *Journal of Coastal Research*, 39: 848–851.
- Mulmi, A. D., 2009: Green road approach in rural road construction for the sustainable development of Nepal. *Journal of Sustainable Development*, 2(3): 149–165.
- Nash, C., 2014: Brownfield-inspired green infrastructure: a new approach to urban biodiversity conservation. Doctoral thesis, 1–42.
- Nimbalkar, S. S., D. Choudhury, J. N. Mandal, 2006: Seismic stability of reinforced soil-wall by pseudo-dynamic method. *Geosynthetics International*, 13(3): 111–119.
- Nonveiller, E., Z. Mayer, J. Čolig, L. Subotić, 1979: *Mehanika tla i temeljenje građevina*. Zagreb, Školska knjiga, 1–780.
- Oswald, N. R., J. F. George, G. A. Pickering, 1975: Fourmile Run Local Flood-Control Project. Alexandria and Arlington County, Virginia, U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Technical Report, H-7, 5–19.
- Oswald, N. R., S. T. Maynard, 1978: Bank protection techniques using gabions in Streambank erosion control evaluation and demonstration, work unit 3, Section 32 Program; Hydraulic Research; Vicksburg, MS, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Res. Rep. 3: 1–9.
- Park, J. H., Y. H. Jeong, H. T. Choi, 2008: Development of the Forest Road Cut-slope Rehabilitation Techniques Using Gabion Systems with Vegetation Base Materials. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology*, 11(5): 92–103.
- Park, J. H., Y. H. Jeong, H. T. Choi, 2009: Using Gabion Systems with Vegetation Base Materials on Stability Analysis for the Forest Road Cut-slope Rehabilitation Techniques. *Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology*, 12(2): 106–113.
- Pernier, M., 1977: Comparative study of different types of bank protection in “La defense des berges, des canaux et rivières, R. Tenaud (ed.) Paris, École Nat. Ponts Chaussées, Assoc. Amicale Ing. Anciens Élèves, 13–25.
- Quigley, R. M., J. H. L. Palmer, A. Rowland, D. Bere, 1974: Groyne stabilization of slope movements and toe erosion. Lake Huron near Bayfield, Ontario, in *Proceedings, 17th Conference on Great Lakes Research, Part 1, McMaster University, Hamilton*.
- Ramelli, A., 1970: Le diverse et artificiose machine del capitano Agostino Ramelli. *Gregg International*, 1–720.
- Roth, L., 1977: Erosion control simplified by modernized metal gabion. *Dixie Contractor*, 52(8): 17–24.
- Sauter, D. 2010: *Landscape construction*. Delmar, Cengage Learning, 1–613.
- Schuster, R. C., 1974: Gabions in highway construction. *Transportation Research Board Special Report*, 148: 97–105.
- Simons, D. B., Y. H. Chen, L. J. Swenson, 1984: Hydraulic test to develop design criteria for the use of reno mattresses. Simons, Li & associates Inc. P.O. Box 1816, Fort Collins, Colorado, 1–120.
- Stephenson, D., 1980: The stability of gabion weirs. *Water Power and Dam Constr.*, 32(4): 24–28.
- Sublette, W. R., 1979: A behavioral study of gabion retaining walls. *The University of Arizona*, 1–141.
- Tappel, P. D., 1986: Limitations on the use of gabions to improve fish passage. *North American Journal of Fisheries Management*, 6(1): 131–132.
- Transportation Research Board, 1979: *Synthesis 2 – Stage Construction*. Transp. Research Board Pub., Washington, D.C., 1–37.
- TRL, 1997: *Principles of Low Cost Road Engineering in Mountainous Regions*. Overseas Road Note 16, Transport Research Laboratory, Crowthorne, 1–149.
- U.S. Forest Service, 1979: *Proceedings of the Forest Service Geotechnical Workshop held at Ames, Iowa, National Tech Information Service, EM-7170-1; PB80-153612*, 1–472.
- Van Renterghem, T., J. Forssén, K. Attenborough, P. Jean, J. Defrance, M. Hornikx, J. Kang, 2015: Using natural means to reduce surface transport noise during propagation outdoors. *Applied Acoustics*, 92: 86–101.
- Velut, D., R. Perpère, P. Mesnage, 1977: The Verdon works. *The regulation dyke*. *Travaux*, 504: 38–51.
- Webster, S. L., J. E. Watkins, 1977: *Investigation of Construction Techniques for Tactical Bridge Approach Roads Across Soft Ground*. Vicksburg, Miss.: U.S. Waterways Experiment Station, 1–38.
- Yang, G. L., Z. Z. Liu, G. L. Xu, X. J. Huang, 2010: Protection Technology and Applications of Gabion. *Advances in Environmental Geotechnics*, 11: 915–919. DOI: 10.1007/978-3-642-04460-1_120
- Yang, G. L., Q. Shen, 2015: Earth Pressure on Reinforced Earth Retaining Wall by Field Test and Numerical Modeling. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 20: 701–716.

Abstract

Possibilities of application of gabions

Gabions are wire baskets filled with stone; however, the filling can also be made of other materials (brick, wood, decorative glass). The use of such systems began with the earliest civilizations, and nowadays they are still in use. Gabions come in three basic forms: gabion baskets, gabion mattresses and bag gabions. Gabion baskets are mainly used (Brooks and Nielsen 1992) as a sustaining or retaining wall, and rarely as stabilization. Gabion mattresses are a kind of wire mesh »pillows« filled with stone material used for lining the river beds, canals, streams and torrents. They are used for the control of watercourses and prevention of soil erosion. Bag gabions (gabion sacks) have lately been used in the works to strengthen river beds and dam bases. Today, gabions are used in many aspects of human activities, but their most important contribution is the protection function in the regulation of watercourses and road slopes. The stabilization and embankment fortification with gabions have confirmed their widespread use. An additional contribution is their decorative function for which they are used in landscaping. Because of its wide range of applications, gabions are recognized nowadays by most engineers worldwide as a standard construction material. Advantages and disadvantages of the use of gabions are the starting point for their use and encouragement for further research.

Keywords: gabions, slope protection, low-volume roads, landscaping, watercourse control

Adrese autorâ – Authors' address:

Doc. dr. sc. Hrvoje Nevečerel *
e-pošta: nevecerel@sumfak.hr
Dr. sc. Ivica Papa
e-pošta: papa@sumfak.hr
Dr. sc. Matija Landekić
e-pošta: landekic@sumfak.hr
Dr. sc. Kruno Lepoglavec
e-pošta: lepoglavec@sumfak.hr
Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Zavod za šumarske tehnike i tehnologije
Svetošimunska 25
10 000 Zagreb
HRVATSKA

Kristina Pavešić
e-pošta: pavesickika22@gmail.com
Braće Radić 23
48325 Novigrad Podravski
HRVATSKA

Iva Murgić, mag. ing. silv.
e-pošta: iva.murgic7589@gmail.com
Kralja Tomislava 6
53202 Perušić
HRVATSKA

* Glavni autor – *Corresponding author*

Primljeno (Received): 3. 10. 2016.

Prihvaćeno (Accepted): 24. 10. 2016.