

# MOGUĆNOSTI UBLAŽAVANJA UTJECAJA REGULACIJSKIH I ZAŠTITNIH VODENIH GRAĐEVINA NA VODENE EKOSUSTAVE

## POSSIBILITIES OF INFLUENCING THE IMPACT OF REGULATORY AND PROTECTIVE WATER CONSTRUCTIONS IN THE WATER ECOSYSTEM

Goran Lončar<sup>1\*</sup>, Domagoj Vranješ<sup>1</sup>, Ivana Tomašević<sup>1</sup>, Katarina Čović<sup>1</sup>, Ivana Buj<sup>2</sup>, Goran Dašić<sup>3</sup>, Lovorka Korica<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Vita projekt d.o.o., Ilica 191c, Zagreb, Hrvatska

<sup>2</sup>Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek, Rooseveltov trg 6, Zagreb, Hrvatska

<sup>3</sup>Geokon – Zagreb d.d., Starotrtnjanska 16/a, Zagreb, Hrvatska

\*E-mail adresa osobe za kontakt / e-mail of corresponding author: goran.loncar@vitaprojekt.hr

**Sažetak:** U dosadašnjoj praksi gradnje obaloutvrda najveći naglasak se stavlja na ispunjavanje njihovih primarnih funkcija - regulacijske i zaštitne. Za ove zahvate provode se postupci procjene utjecaja na okoliš i ekološku mrežu, no kako se s promišljanjem o mjerama zaštite i ublažavanja negativnih utjecaja najčešće kreće tek u fazi procjene utjecaja zahvata, dolazi do znatnog usporavanja realizacije projekata koji su od velike važnosti za zaštitu života i imovine ljudi. Ovim radom prikazat će se metode i primjeri dobre prakse u projektiranju i gradnji obaloutvrda s uključenim interdisciplinarnim pristupom – suradnjom građevinara, biologa i krajobraznih arhitekata. Predstavljene su i mjere ublažavanja negativnih utjecaja zahvata na ekološku mrežu na primjeru planirane izgradnje nasipa i obaloutvrda na lijevoj obali Kupe od naselja Selce do Rečice.

**Ključne riječi:** mjere ublažavanja, vodne građevine, Glavna ocjena, očuvanje bioraznolikosti

**Abstract:** In the standard practice of revetment building, the emphasis has been put on the fulfillment of their primary functions - regulatory and protective. Environmental and ecological network impact assessment procedures are being carried out for these projects. Due to the fact that consideration of measures for protection and mitigation of negative impacts usually starts at the stage of impact assessment, there is a significant slowdown in the implementation of projects of major importance for the protection of life and people's property. This paper presents examples of good practice in the design and construction of revetments with included integrated approach – collaboration of civil engineers, biologists and landscape architects. Measures for mitigation negative impact on ecological network for planned project of revetment and embankment construction on the left bank of Kupa River from Selce to Rečica are also presented.

**Keywords:** mitigation measures, flood control structures, Main assessment, biodiversity conservation

Received: 18.11.2017 / Accepted: 14.12.2017

Published online: 18.12.2017

Stručni rad / Technical paper

## 1. UVOD

U Republici Hrvatskoj, prema dokumentu Opći tehnički uvjeti za radove u vodnom gospodarstvu (Hrvatske vode 2011), definirano je 25 vrsta regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina. U ovom radu naglasak je stavljen na obaloutvrde koje predstavljaju jedne od najčešćih zaštitnih građevina. Obaloutvrde su građevine na obalama i u koritu vodnih tijela, najčešće tekućica, čija je glavna funkcija stabilizacija obala i zaštita od erozije, umirivanje vodnog toka, usmjeravanje uz obalu i postizanje geometrijski pravilnog oblika obale. Uobičajenim načinom gradnje obaloutvrda kao obloga najčešće se koriste čvrsti građevinski materijali, primjerice lomljeni kamen (rip-rap), gabionski madraci i razni betonski elementi. Izbor tipa obaloutvrde prvenstveno ovisi o hidrološkim, hidrauličkim i geomehaničkim uvjetima u koritu, ali i o dostupnosti materijala te raspoloživim sredstvima. Obaloutvrde se mogu podijeliti na kose i vertikalne, a najčešće se koriste i grade kose obaloutvrde.

## 2. RIPARIJSKA ZONA

Riparijska zona je prostor koji se nalazi na obalama i u koritu vodnih tijela. To je tranzicijski prostor između vodenih i kopnenih staništa s elementima oba, gdje su tlo i vegetacija pod stalnim utjecajem stajaće ili tekuće vode. Vegetacija koja čini riparijsku zonu ima veliki utjecaj na vodno tijelo uz koje se nalazi, budući da, ovisno o vrsti, površini i gustoći, osigurava neke od značajnih funkcija vodnog tijela:

(a) Riparijska vegetacija pruža stanište brojnim kopnenim i vodenim organizmima te ovu zonu u pravilu karakterizira velika raznolikost biljnog i životinjskog svijeta. Područja korita uz same obale za mnoge su riblje vrste vrlo važna hranilišta, mrjestilišta i/ili rastilišta tijekom čitavog životnog ciklusa i/ili tijekom pojedinih životnih stadija i vremenskih razdoblja. Uz ribe, brojni vodozemci koriste upravo ovaj prostor za mrijest i polaganje jajašaca na vegetaciju prisutnu u ovoj zoni. Vegetacija i korijenov sustav ispod razine vode bitna su staništa za brojne beskraljeznjake.

(b) Riparijska vegetacija osigurava zasjenjenost vodnog tijela čime se ublažavaju temperaturni ekstremi, odnosno voda je relativno hladnija ljeti i toplija zimi. Zasjenjenost također smanjuje evaporaciju i sprječava porast primarne produkcije te pozitivno utječe na riblje vrste koje ne preferiraju izravnu izloženost suncu.

(c) Debla i veće grane koje završe u vodnom tijelu imaju višestruku ulogu – stvaraju mikrozone u kojima se zadržava sediment te osiguravaju zaklon i refugije za ribe, vodozemce i vodene beskraljeznjake. Na ovaj način poboljšavaju se stanišni uvjeti i dostupnost hrane za sve članove hranidbene mreže.

(d) Organski materijal poput lišća, kukaca i njihovih ličinka, kojeg obično ima u izobilju na vodnim tijelima uz koja je prisutna riparijska vegetacija, važan je izvor hrane za organizme viših trofičkih razina poput riba, vodozemaca i ptica.

(e) Riparijska vegetacija poboljšava kakvoću vode time što zadržava sediment odnosno sprječava ispiranje čestica tla, nutrijenata i polutanata s okolnih površina, prvenstveno poljoprivrednih. Također, povećava kapacitet infiltracije tla budući da djeluje kao spužva, upija vodu i polagano je ispušta u vodno tijelo, čime usporava otjecanje/ispiranje vode s površine. Korištenje vegetacije stabilizira obalu i korito čime smanjuje eroziju i sedimentaciju.

(f) Prisutna vegetacija osigurava hrapavost korita u tekućicama čime se usporava brzina toka tekućica. Također, utječe i na lokalno smanjenje brzine vjetra.

(g) Povećava krajobraznu vrijednost područja.

Budući da je za izgradnju obaloutvrda u pravilu nužno ukloniti prisutnu vegetaciju, dolazi do negativnih utjecaja na čitav ekosustav:

(a) Uklanjanjem vegetacije smanjuje se kvaliteta staništa, dostupnost hrane te posljedično i bioraznolikost područja. Velike promjene u staništu i uklanjanje prisutne vegetacije u pravilu stvaraju vrlo pogodna staništa za širenje invazivnih vrsta. Uslijed kompeticije s invazivnim vrstama, često dolazi do smanjenja populacija autohtonih vrsta. Rakušci su uz puževe i školjkaše jedna od skupina koja se potpomognuta ljudskim djelovanjem najuspješnije proširila slatkim i bočatim vodama diljem svijeta, što je u većini slučajeva rezultiralo osiromašenjem autohtone faune. Istraživanje širenja invazivnih rakušaca i njihovog utjecaja na zajednice beskraljeznjaka u bentosu rijeke Drave (Babić i Dekić 2012) pokazalo je da vrste *Dikerogammarus villosus* i *Chelicorophium curvispinum* razvijaju statistički značajno veće gustoće populacije na obaloutvrdama u odnosu na prirodni supstrat, odnosno da ove građevine znatno pospješuju širenje i preživljavanje invazivnih vrsta rakušaca. Uz rakušce, promjene u riparijskoj zoni pospješuju širenje i niza drugih invazivnih vrsta, primjerice riječni glavočić (lat. *Neogobius fluviatilis*), signalni rak (lat. *Pacifastacus leniusculus*) te veliki broj neofita.

(b) Izgradnjom obaloutvrde dolazi do ubrzanog usijecanja rijeke i produbljanja riječnog korita čime posljedično dolazi i do sužavanja riječnog korita. Ovim procesom gube se visoko kvalitetna obalna staništa kao što su šljunčane/pješčane obale. Također, dolazi i do smanjenja riječne dinamike te smanjene mogućnosti

bočne erozije na vanjskim zavojima rijeke. Uslijed izostanka erozije ne stvaraju se nova staništa pogodna za gniježđenje ptica poput vodomara (lat. *Alcedo atthis*), pčelarice (lat. *Merops apiaster*) i bregunice (lat. *Riparia riparia*). Smanjeni unos šljunka s riječnih obala uzrokuje produbljanje riječnog korita nizvodno. Ujednačavanjem uvjeta u koritu dolazi do smanjenja varijabilnosti dubine uz riječne obale, čime se mijenja dostupnost različitih staništa tijekom razdoblja niskog i visokog vodostaja (Hrvatska agencija za okoliš i prirodu, Austrijska agencija za okoliš 2015).

(c) Postavljanjem geotekstila u nožici pokosa i koritu rijeke mijenja se riječno dno i trajno sprječava razvoj biljaka ispod površine geotekstila, a isto tako i naseljavanje životinja iznad geotekstila. Ovo je bitan utjecaj na organizme koji dio svog životnog ciklusa, ili cijeli život, provode zakopani u mulju te ovim zahvatima gube staništa.

### 3. BIOINŽENJERING

Bioinženjering je princip građenja regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina kojim se koriste žive biljke i dijelovi biljaka te anorganski prirodni materijali kako bi se stvorili živi funkcionalni sustavi za sprječavanje erozije, kontrolu sedimentacije i onečišćenja te za obnovu, stvaranje i/ili poboljšanje staništa. Ova metoda usklađuje građevinsku praksu s ekološkim principima te se njome mogu poboljšati ili potpuno zamijeniti standardni načini gradnje. Korištenje biljaka za stabilizaciju obala ima dugu tradiciju u Europi budući da su se još u srednjem vijeku u Francuskoj i Nizozemskoj vrbe koristile za stabilizaciju kanala. U novije vrijeme ove dugo poznate metode unaprjeđuju se novim saznanjima i modernim pristupom te ponovo ulaze u primjenu. U usporedbi s uobičajenim načinom gradnje obaloutvrda, primjena bioinženjeringa je okolišno prihvatljivija metoda iz više razloga, a ujedno se njome mogu zadovoljiti svi potrebni uvjeti i zahtjevi stabilnosti i sigurnosti građevine. U odnosu na standardne načine gradnje, prednosti primjene bioinženjeringa su sljedeće: Tehničke:

- Prisutna vegetacija povećava hrapavost obale što utječe na smanjenje brzine toka, a time i na stabilnost obale.

Ekološke:

- Očuvana vegetacija i omogućen njezin razvoj doprinosi povećanju kvalitete staništa i povećanju bioraznolikosti područja.

Ekonomske:

- Troškovi gradnje i održavanja bioinženjerskih građevina u pravilu su značajno manji u usporedbi s gradnjom i održavanjem uobičajenih obaloutvrda.

Estetske:

- Primjenom bioinženjeringa štite se krajobrazne vrijednosti područja, odnosno ne dolazi do narušavanja istih. Ovom metodom omogućava se razvoj prirodnog površinskog pokrova čime dolazi do očuvanja vizualnih i boravišnih kvaliteta prostora. Područja obala vodotoka, gledano sa aspekta rasta biljaka, specifičnih su i ograničavajućih uvjeta. Ovdje su naglašena velika kolebanja vlage u tlu, vegetacija je

često pod utjecajem razornog djelovanja vode, a ova područja karakteriziraju i pedološki nerazvijena tla koja su pod stalnim i izrazitim utjecajem vode (odnošenje i degradacija tla, permanentni nanosi riječnoga mulja, nanosi sjemena nepoželjnih vrsta koji se prenose vodom i sl.). Kako bi sadnja biljaka i stvaranje uvjeta za njihov rast na ovakvim površinama bila uspješna, potrebno je odabrati vrste specifičnih bioloških osobina koje najbolje odgovaraju navedenim uvjetima. To su vrste pionirskih osobina, vrlo široke ekološke valencije u pogledu zahtjeva za kvalitetom staništa, nutrijentima te klimatskim uvjetima. Osobine karakteristične za pionirske vrste su mali pedološki zahtjevi i toleriranje plićih, dreniranih tala i velikih kosina/nagiba, brzi rast u prvim godinama, velika otpornost na klimatske ekstreme, podnošenje velikog kolebanja vlažnosti tla, jaka izbojna i regenerativna snaga, razvoj razgranatog i gustog korijenskog sustava, duboko zakorjenjivanje i sl. Najčešće korištene vrste za primjenu bioinženjeringa su iz roda vrba (lat. *Salix*). Ove vrste zakorjenjuju iz male količine organske tvari, toleriraju brojne okolišne uvjete (zagađenje, loša kvaliteta tla), korijenov sustav se razvije unutar godine dana, razvijaju adventivno korijenje što omogućuje i opstanak na mjestima na kojima voda stagnira itd. Najčešće se koriste krhka vrba (lat. *Salix fragilis*), bijela (lat. *Salix alba*), rakita (lat. *Salix purpurea*), bademasta (lat. *Salix triandara*) i košaračka (lat. *Salix viminalis*). Krhka i bijela vrba obično služe za izradu stupova dok košaračka vrba najčešće služi kao izvor dugih, savitljivih grana.

Uz vrbe, česta je upotreba crne (lat. *Populus nigra*) i bijele topole (lat. *Populus alba*). Ove vrste nešto su drugačijih bioloških karakteristika i ekoloških zahtjeva od vrba, a preferiraju prostore uz stagnirajuću vodu nižeg vodostaja. Osim vrba i topola, od drvenastih biljaka još se koriste crna (lat. *Alnus glutinosa*) i bijela joha (lat. *Alnus incana*), poljski brijest (lat. *Ulmus minor*), brijest vez (lat. *Ulmus laevis*) te poljski jasen (lat. *Fraxinus angustifolia*). Od zeljastih vrsta, najčešće su vrste iz roda šaševa (lat. *Carex*) te vrste žuta perunika (lat. *Iris pseudacorus*), vučja noga (lat. *Lycopus europeus*), močvarna rebratica (lat. *Hottonia palustris*), močvarna kaljužnica (lat. *Caltha palustris*), obični provitak (lat. *Lysimachia vulgaris*) i dr. Od grmolikih vrsta najčešće se koriste vrste iz roda udikovina (lat. *Viburnum*), kupina (lat. *Rubus*) i glogova (lat. *Crataegus*).

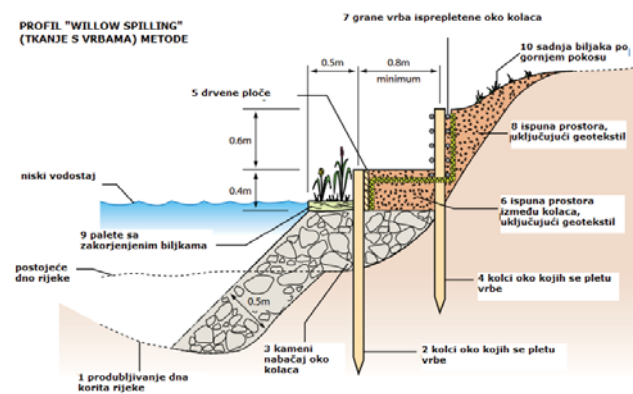
Temeljem navedenog, jasno je da je kod primjene bioinženjerskih metoda osnova multidisciplinarni pristup i to već u početnim fazama projektiranja. Projektni tim uz stručnjake građevinarske struke, koji će odrediti zahtjeve za stabilnost, čvrstoću, veličinu i oblik građevine itd., svakako treba sadržavati i stručnjake biologe te krajobrazne arhitekta, koji će znati odrediti i uskladiti biljni materijal potreban za izvođenje zahvata s ekološkim uvjetima i ograničenjima područja, kao i stanišnim specifičnostima i zahtjevima pojedinih vrsta koje na tom području obitavaju.

#### 4. METODE BIOINŽENJERINGA

U ovom poglavlju dan je pregled nekoliko uobičajenih metoda bioinženjeringa, kao i kratak opis projekta gdje je navedena metoda primijenjena.

##### 4.1. Tkanje s vrbama (eng. willow spiling)

Willow spiling jedna je od najčešće korištenih metoda bioinženjeringa. Metoda se bazira na drvenim stupovima, postavljenim u obalu, okomito na smjer vodotoka te pod kutom u odnosu na nagib obale. Između tako postavljenih stupova isprepleću se svježe odrezane grane vrbe iz kojih se kroz kratko vrijeme počnu razvijati mlade biljke. Za ovu metodu se najčešće koristi košaračka vrba (lat. *Salix viminalis*), budući da je karakteriziraju dugačke, tanke i savitljive grane, vrlo pogodne za isprepletanje. Na slici 1. prikazan je shematski prikaz ove metode (River restoration centre 2013).



Slika 1. Metoda willow spiling (tkanje s vrbama) (River restoration centre 2015)

Kao primjer za upotrebu willow spiling metode naveden je poslovni park u Engleskoj, u gradu Gloucester, gdje je planirana gradnja novog postrojenja čije su se otpadne vode planirale ispuštati u potok neposredno uz tvornicu (Salix River & Wetland Services Limited). Potok je već bio pod značajnim utjecajem erozije, zbog čega je bilo potrebno stabilizirati obale. Prvotno predloženo rješenje uključivalo je standardnu metodu građenja, s gabionskim madracima postavljenim u 3 reda (stepenice). Tijekom razvoja projekta radi smanjenja troškova gradnje i održavanja, odustalo se od gabionskih madraca i odlučilo se za primjenu bioinženjeringa. Na terase između dva reda isprepletanih vrba postavljene su tkanine od biorazgradivih kokosovih vlakana i ovdje su posađene zemljaste biljke, čime se dodatno stabilizirala obala. Kroz 2 godine se iz svježe posječenih i postavljenih vrbinih grana razvila bujna vegetacija. Na slici 2. prikazana je lokacija zahvata tijekom izvođenja radova i 2 godine nakon završetka radova.



**Slika 2. Willow spiling (tkanje s vrbama) tijekom izvođenja radova (gore) i nakon 2 godine (dolje) (Salix River & Wetland Services Limited)**

Monitoring područja prije i nakon izgradnje zahvata pokazao je povećanje bioraznolikosti, a kao posebnost ističe se pojava vretenaca uz potok, skupine organizama koji su bioindikator dobrog stanja okoliša.

Drugi primjer primjene ove metode je LIFE projekt koji je proveden u Irskoj, na NATURA2000 području Blackwater River (LIFE09 NAT/IE/000220 BLACKWATER SAMOK) (IRD Duhallow). Neke od ciljnih vrsta ovog područja su riječna bisernica (lat. *Margaritifera margaritifera*), atlantski losos (lat. *Salmo salar*), vidra (lat. *Lutra lutra*), bjelonogi rak (lat. *Austropotamobius pallipes*), morska paklara (lat. *Petromyzon marinus*), potočna paklara (lat. *Lampetra planeri*), riječna paklara (lat. *Lampetra fluviatilis*), vodomar (lat. *Alcedo atthis*), a ciljno stanište 91E0 Aluvijalne šume. Ovu rijeku ugrožavaju intenzivna poljoprivreda čime dolazi do pojačanog unosa nutrijenata i polutanata, hidromorfološke promjene i radovi na uređenju korita, uklanjanje riparijske vegetacije i pojava invazivnih biljnih vrsta, što je dovelo do smanjenja populacija ciljnih vrsta kao i do pojačane erozije obale i smanjenja njezine stabilnosti. Pojačano taloženje sedimenta uzrokovalo je smanjenje populacije školjkaša riječne bisernice i salmonidnih riba. LIFE projekt je uključivao nekoliko aktivnosti, a jedna od njih bila je sanacija 360 m erodirane obale primjenom bioinženjeringa. Na slici 3. prikazano je stanje obala prije i nakon provođenja projekta. Monitoring područja prije i nakon izgradnje zahvata pokazao je povećanje brojnosti riba, a najveći porast je bio upravo ciljne vrste atlantskog lososa.



April 2011



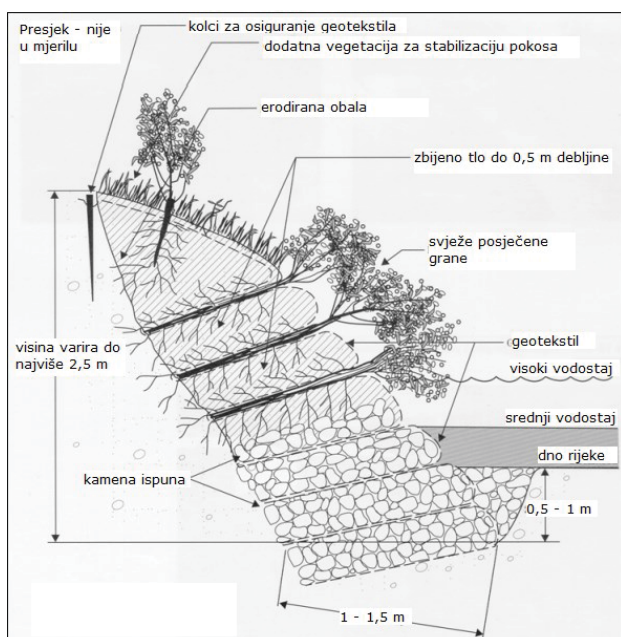
June 2015

**Slika 3. Rijeka Allow prije (gore) i nakon (dolje) provođenja projekta (IRD Duhallow)**

#### 4.2. Vegetacijske geomreže (eng. vegetated geogrids)

Vegetated geogrids ili „vegetacijske geomreže“ metoda je koja uključuje prirodne ili sintetičke tkanine koje se ugrađuju u tlo, a između njih se postavljaju svježe odrezane grane, najčešće vrba (Iowa Department of Natural Resources 2006). Osnova ove metode je izmjena dvije vrste slojeva – jedan sloj čini zemljani materijal koji je omotan tkaninom koja ga čini kompaktnim, dok drugi sloj čine grane koje kroz kratko vrijeme počnu rasti i razvijati korijenov sustav, čime stabiliziraju i učvršćuju tlo. Na geomrežu se postavlja kamen radi stabilizacije dok se ne razvije vegetacija. Ova metoda se može koristiti na vrlo strmim padinama i može izdržati relativno velike brzine strujanja vode. Na slici 4. prikazan je shematski prikaz ove metode.

Primjer za ovu metodu je iz Arizone, SAD, gdje je bilo potrebno stabilizirati obalu na potoku Bassett Creek (City of Golden Valley). Potok se nalazi u urbaniziranom području te je brojnim zahvatima potok izmijenjen i velik dio riparijske vegetacije je uklonjen. Na slici 5. prikazana je lokacija zahvata izgledala tijekom izvođenja radova i nakon završetka radova.



**Slika 4. Metoda vegetated geogrids (vegeacijske geomreže) (Iowa Department of Natural Resources 2006)**

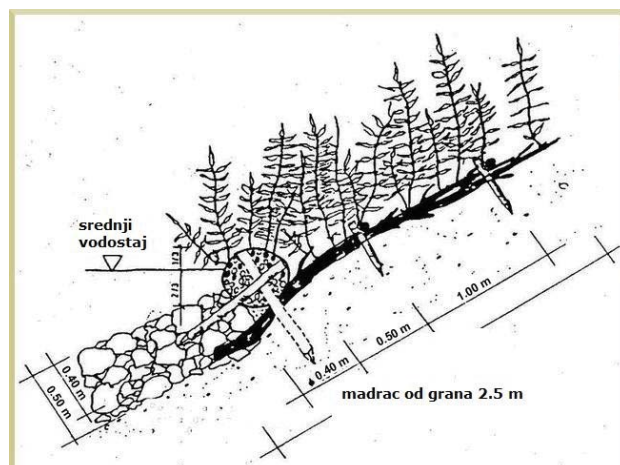


**Slika 5. Vegetated geogrids (vegetacijske geomreže) tijekom izvođenja radova (gore) i nakon završetka (dolje) (City of Golden Valley)**

#### 4.3. Madraci od grana (eng. brush mattress)

Brush mattress je metoda koja se također bazira na svježe odrezanim odnosno živim granama, najčešće vrbe, koje se postavljaju na cijelu površinu obale koju je potrebno stabilizirati. Kao i kod prethodnih metoda, iz živih grana se kroz kratko vrijeme počnu razvijati mlade biljke. U nožicu obale se postavljaju drveni stupovi i

kamen čija je uloga sprječavanje otplavlivanja madraca. Na slici 6. prikazan je shematski prikaz ove metode.



**Slika 6. Metoda brush mattress (madraci od grana) ([http://groundwater.sdsu.edu/design\\_velocities\\_fig\\_12.html](http://groundwater.sdsu.edu/design_velocities_fig_12.html))**

Primjer primjene ove metode je rijeka Rhiw u Walesu, gdje je bilo potrebno stabilizirati 300 metara erodirane obale rijeke kako bi se zaštitio postojeći plinski cjevovod (Salix River & Wetland Services Limited). Na slici 7. prikazana je lokacija zahvata tijekom izvođenja radova i 8 mjeseci nakon završetka radova. Ovdje su osim madraca korišteni i čitavi panjevi s korijenom koji su stavljeni u nožicu obale i koji su služili za dodatnu stabilizaciju obale, ali i stvaranje mikrostanista za vodene organizme.



**Slika 7. Brush mattress (madraci od grana) tijekom izvođenja radova (gore) i nakon završetka (dolje) (Salix River & Wetland Services Limited)**

#### 4.4. Valjci od kokosovih vlakana (eng. coconut fiber roll)

Coconut fiber roll su dugačke, cilindrične strukture (valjci) konstruirane od vlakana kokosa ([Salix River & Wetland Services Limited](#)). Postoje dvije vrste - s unaprijed zakorjenjenim zeljastim biljkama ili bez njih. Na **slici 8.** prikazane su obje vrste valjaka. Nakon što su valjci postavljeni uz nožicu obale, biljke u njima vrlo brzo zakorjenjuju u tlo i stabiliziraju ga. Kokosova vlakna su biorazgradivi materijal kojem je potrebno 5 do 7 godina za potpunu razgradnju, što je dovoljno vremena da se biljke potpuno ukorijene u obalu. Valjci se uz obalu fiksiraju stupovima ili mrežama napunjenim kamenim materijalom manjih dimenzija (tzv. rock rolls).



**Slika 8.** Coconut fiber rolls (valjci od kokosovih vlakana) ([Salix River & Wetland Services Limited](#))

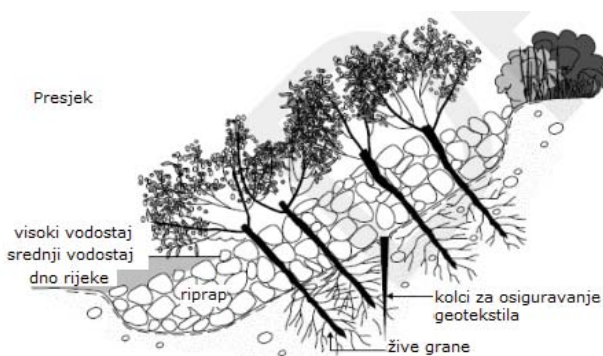
Kao primjer upotrebe valjaka od kokosovih vlakana navedena je rijeka Wey, koja se nalazi u Engleskoj, neposredno uz golf igralište ([Salix River & Wetland Services Limited](#)). U ovom projektu, osim coconut fiber rolls, primijenjena je i hidrosjetva za ozelenjivanje obale, a kao podloga su postavljene tkanine, također od kokosovih vlakana. Na **slici 9.** se može vidjeti stanje obala prije i nakon izvođenja radova.

#### 4.5. Vegetacijski riprap (kamenomet) (eng. vegetated riprap)

Vegetated riprap je metoda vrlo slična standardnoj riprap metodi (kamenomet) te se i ovdje kao građevinski materijal koristi kamen različitih dimenzija. Razlika je u tome što se u ovoj metodi kamen polaže na način da se ostavlja prostor u koji se postavljaju svježe odrezane grane, na način da dođu do tla odnosno zemljanog materijala, u koji kroz kratko vrijeme zakorjenjuju. Na **slici 10.** prikazan je shematski prikaz ove metode.



**Slika 9.** Obale rijeke Wey prije (gore) i nakon (dolje) izvođenja radova ([Salix River & Wetland Services Limited](#))



**Slika 10.** Vegetated riprap (vegetacijski kamenomet) ([New York Department of Environmental Conservation](#))

Primjer za ovu metodu je rijeka North Saskatchewan River u Edmontonu, Kanada. Velike promjene razine vode u ovoj rijeci uzrokovale su jaku eroziju obale, što je dovelo do ugrožavanja ispusta oborinskih voda u rijeku. Biljne vrste koje su korištene u ovom zahvatu bile su vrbe (lat. *Salix bebbiana* / *exigua* / *scouleriana*), topola balzamovac (lat. *Populus balsamifera* ssp. *trichocarpa*) i drijen (lat. *Cornus stolonifera*) ([Terra Erosion Control Ltd.](#)). Na **slici 11.** prikazano je stanje obala tijekom izvođenja radova te 4 godine nakon završetka radova.



**Slika 11. Lokacija zahvata tijekom izvođenja radova (gore) i nakon 4 godine (dolje) (Terra Erosion Control Ltd.)**

## 5. PRIMJERI IZ HRVATSKE

### 5.1. Kupa – Brodarci

U mjestu Brodarci na Kupu kod Karlovca 2000. godine izgrađena je obaloutvrda duljine oko 600 m. Nožica obaloutvrde izvedena je od kamenog nabačaja, dok je obala iznad nožice nasuta zemljanom materijalom koji je zbijen radi što bolje kompaktnosti. Po završetku radova površina je humusirana i posadena je trava. Iako ovdje nije korištena ni jedna metoda bioinženjeringa, ovaj primjer naveden je iz razloga što je obala nakon izgradnje djelomično puštena sukcesiji, odnosno košnjom nije održavana cijela obala, što je rezultiralo time da se postupno kroz godine razvila i drvenasta vegetacija. Na **slici 12.** može se vidjeti kako obala danas izgleda te se mogu uočiti „zeleni otoci“ s drvenastom vegetacijom. Navedeni primjer je bitan iz razloga što pokazuje da se i bez korištenja bioinženjerskih metoda, odnosno samo usmjerenim održavanjem uspjela razviti drvenasta vegetacija čime dolazi do pozitivnog utjecaja na bioraznolikost područja. S druge strane, nije poznato da li je razvijena vegetacija utjecala na stabilnost obaloutvrde niti kako će na nju utjecati daljnji razvoj vegetacije. Da su projektom bile predviđene zone na obaloutvrđi za razvoj drvenaste vegetacije, njen razvoj

bio bi znatno brži te bi se u isto vrijeme osigurala dugoročna stabilnost građevine, omogućavajući nesmetan razvoj korijenovog sustava.



**Slika 12. Obaloutvrda u mjestu Brodarci (Geokon-Zagreb d.d.)**

### 5.2. Kupa - Vodostaj

Drugi primjer je također s rijeke Kupe, iz naselja Vodostaj kod Karlovca. Obaloutvrda ovdje još nije izgrađena, ali je proveden postupak glavne ocjene prihvatljivosti zahvata za ekološku mrežu. Zahvat uključuje izgradnju obaloutvrda i nasipa u duljini od 11 km. Nasipi su predviđeni u duljini od oko 7 km, dok tamo gdje zbog blizine prometnice i kuća nije bilo moguće projektirati nasip, predviđen je zaštitni zid i obaloutvrde, budući da je na tim djelovima obalu bilo potrebno i stabilizirati. Prvotno projektno rješenje uključivalo je izgradnju kamene obaloutvrde. U postupku glavne ocjene procijenjeno je da je moguć negativan utjecaj na vodomara (lat. *Alcedo atthis*) koji na području planiranih obaloutvrda ne gnijezdi ali taj prostor koristi kao hranilište. Također moguć je i negativan utjecaj na ciljne vrste riba, pogotovo na dijelu gdje je planirana obaloutvrda smještena nasuprot ušća Korane u Kupu. Kako bi se ublažili mogući negativni utjecaji na ciljne vrste, u suradnji s projektantima došlo se do rješenja koje uključuje krajobrazno projektiranje „zelenih otoka“ uz samu nožicu obaloutvrde, na svakih 10 m, čime će se zadržati mikrostaništa bitna za svrjet i hranjenje riba. Presjek obaloutvrde dan je na **slici 13.** Osim zelenih otoka, predviđen je i pojas zelene zone na blažim pokosima, čime će se osigurati dovoljno drvenaste vegetacije koja će omogućiti da vodomar i dalje nastavi koristiti ovaj prostor kao hranilište (Vita projekt 2017).

