

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Zakotnik, M., 2014. Pregled inženirsko bioloških metod v sonaravnem urejanju vodotokov. Diplomski nalogi. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Mikoš, M., somentor Rusjan, S.): 66 str.

Datum arhiviranja: 20-10-2014

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Zakotnik, M., 2014. Pregled inženirsko bioloških metod v sonaravnem urejanju vodotokov. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Mikoš, D., co-supervisor Rusjan, S.): 66 pp.

Archiving Date: 20-10-2014

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM PRVE STOPNJE
VODARSTVA IN
OKOLJSKEGA INŽENIRSTVA

Kandidat:

MATIC ZAKOTNIK

**PREGLED INŽENIRSKO BIOLOŠKIH METOD V
SONARAVNEM UREJANJU VODOTOKOV**

Diplomska naloga št.: 24/B-VOI

**OVERVIEW OF BIOENGINEERING METHODS IN
SUSTAINABLE RIVER ENGINEERING**

Graduation thesis No.: 24/B-VOI

Mentor:

prof. dr. Matjaž Mikoš

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Dušan Žagar

Somentor:

doc. dr. Simon Rusjan

Ljubljana, 16. 09. 2014

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisani **Matic Zakotnik** izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom »**Pregled inženirsko bioloških metod v sonaravnem urejanju vodotokov**«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, september 2014

Matic Zakotnik

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

- UDK:** 556.5:57:627.422(497.4)(043.2)
- Avtor:** Matic Zakotnik
- Mentor:** prof. dr. Matjaž Mikoš
- Somentor:** doc. dr. Simon Rusjan
- Naslov:** Pregled inženirsko bioloških metod v sonaravnem urejanju vodotokov
- Tip dokumenta:** Diplomaska naloga – univerzitetni študij
- Obseg in oprema:** 66 str., 5 pregl., 43 sl.
- Ključne besede:** inženirsko biološke metode, sonaravno urejanje vodotokov, naravna gradiva, protierozijska zaščita, stabilizacija rečne struge, rečna erozija

Izvleček

V diplomski nalogi je predstavljen pregled uporabe inženirsko bioloških metod, tj. sonaravno urejanje rečnih strug. Za zaščito se uporablja naravne materiale in predvsem živo gradivo. Z inženirsko biološkimi ukrepi se lahko prepreči ali omili rečno, površinsko, vodno in snežno ter tudi vetrno erozijo. Na podlagi razpoložljivih virov in primerov dobre prakse so predstavljene raznovrstne inženirsko biološke tehnike, ki so primerne za stabilizacijske ukrepe na dnu struge, na brežini vodotokov in tudi za izboljšanje habitatnih razmer v vodotokih. Uporabne so za točkovna, linijska ali ploskovna zavarovanja večjih razsežnosti, omogočajo pa tudi dograjevanje in kombiniranje s klasičnimi tehničnimi zgradbami, še posebej na odsekih, kjer so brežine izpostavljene večjim erozijskim silam.

Inženirsko biološke metode v primerjavi s klasičnimi metodami za doseganje ustrezne stabilizacijske funkcije potrebujejo nekaj več časa, so stroškovno sprejemljivejše in manj zahtevne za gradnjo. Njihova življenjska doba ob ustreznem vzdrževanju je vsaj 50 let. Zahtevajo specifična znanja in izkušnje ter več ročnega dela, zato so uporabne tudi na oddaljenih in za mehanizacijo težje dostopnih mestih.

Sonaravne ureditve omogočajo ugodne razmere za vodne in obvodne ekosisteme, prav tako pa so bolj vpete v okoliško krajino in estetsko privlačne.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

- UDC:** 556.5:57:627.422(497.4)(043.2)
- Author:** Matic Zakotnik
- Supervisor:** Prof. Matjaž Mikoš, Ph.D.
- Cosupervisor:** Assist. Prof. Simon Rusjan, Ph.D
- Title:** Overview of bioengineering methods in sustainable river engineering
- Document type:** Graduation Thesis – University studies
- Scope and tools:** 66 p., 5 tabl., 43 fig.
- Keywords:** bioengineering methods, sustainable watercourse management, natural building materials, erosion protection, river-bed stabilisation, channel scour

Abstract

This thesis presents possibility of application of bioengineering methods - i.e. sustainable river engineering. Mostly natural and especially live materials are used for river bank protection. Such precautions prevent or mitigate surficial, water, snow, and wind erosion. According to available sources and examples of good practice various bioengineering techniques are presented. They are suitable for bottom bed river stabilisation, as well as for river banks and improvement of habitat conditions in watercourses. There are point, linear, and surface protection of greater areas which also enable upgrading and combination with technical buildings, especially in parts where river banks are exposed to greater erosion forces.

Bioengineering methods in comparison with conventional methods need more time to achieve adequate stabilization function, the costs are more acceptable and they are less complex to construct. Their life expectancy with appropriate maintenance is at least 50 years. On the other hand, they require specific knowledge and experience, and more manual work so they are applicable also at distant and for machinery less accessible locations.

Sustainable management enables good condition for water and riparian eco-systems, and are well incorporated in their environment, and look better from the aesthetic point of view.

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se zahvaljujem mentorju prof. dr. Matjažu Mikošu in somentorju doc. dr. Simonu Rusjanu.

Zahvaljujem se tudi družini za podporo in spodbujanje v času študija.

KAZALO VSEBINE

IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA.....	V
KAZALO SLIK.....	VIII
KAZALO PREGLEDNIC.....	IX
1 UVOD	1
2 UREJANJE VODOTOKOV.....	3
2.1 Klasičen pristop k urejanju vodotokov	3
2.2 Sonaravno urejanje vodotokov.....	3
2.3 Zakonodaja in cilji urejanja vodotokov	5
2.4 Namen diplomske naloge.....	6
3 UKREPI ZA STABILIZACIJO VODOTOKA	7
3.1 Ukrepi na dnu struge vodotoka	7
3.1.1 Nizki pragovi	7
3.1.2 Jezbice (odbijači toka).....	8
3.2 Ukrepi na brežini vodotoka	10
3.2.1 Zaščita s kosmatim lesom	10
3.2.2 Zaščita brežine s hlodovino	11
3.2.3 Preoblikovanje naklonov in zasaditev brežine	13
3.2.4 Poplet (vrbov poplet).....	15
3.2.5 Zvitki iz geotekstila.....	18
3.2.6 Porasle žičnate košare (porasli gabioni).....	20
3.2.7 Cevasti gabioni iz geotekstila in grmičevja	24
3.2.8 Potaknjenci	26
3.2.9 Skalometi/kamnometi s potaknjenci	29
3.2.10 Lesene kašte	31
3.2.11 Žive fašine	34

3.2.12	Žive ščetke	36
3.2.13	Živi plotovi	38
3.2.14	Oblaganje s travno rušo.....	39
3.2.15	Vodna setev z dodatkom rastne pulpe.....	40
3.2.16	Kordonska zasaditev	41
3.3	Metode za izboljšanje habitatnih razmer.....	42
3.3.1	Nadstrešno zavarovanje.....	42
3.3.2	Skrivališče za ribe.....	42
4	VZDRŽEVANJE INŽENIRSKO BIOLOŠKIH METOD	44
5	SKLEPNE UGOTOVITVE	45
6	ZAKLJUČEK.....	48
VIRI	49

KAZALO SLIK

Slika 1: Pragovi na Jezrnici	7
Slika 2: Inženirsko biološka ureditev jezbic v ravninskem vodotoku	8
Slika 3: Skica jezvice-odbijača toka	9
Slika 4: Niz jezbic na Suhem potoku v Zadnji Trenti	9
Slika 5: Izgled jezvice na Suhem potoku v Zadnji Trenti	9
Slika 6: Prikaz zaščite s kosmatim lesom	11
Slika 7: Zaščita brežine s hlodovino	11
Slika 8: Vgrajena zaščita s hlodovino	12
Slika 9: Preoblikovanje naklonov	13
Slika 10: Skica naklonov	14
Slika 11: Vrbov poplet	16
Slika 12: Vgradnja vrbovega popleta	18
Slika 13: Zvitke iz geotekstila	19
Slika 14: Prikaz namestitve zvitka iz geotekstila	19
Slika 15: Skica poraslih gabionov	21
Slika 16: Prikaz namestitve gabionov	22
Slika 17: Porasel gabion	22
Slika 18: Slika cevastih gabionov iz geotekstila in grmičevja	24
Slika 19: Prikaz gradnje cevastih gabionov iz geotekstila in grmičevja	25
Slika 20: Vrbovi potaknjenci	27
Slika 21: Namestitev navpičnih potaknjencev	27
Slika 22: Skalomet/kamnomet s podtaknjenci	29
Slika 23: Pod skalomet položena butara iz vrbovih potaknjencev	30
Slika 24: Potaknjenci, zakrivljeni skozi reže	30
Slika 25: Žive ščetke in potaknjenci	30
Slika 26: Porasla lesena kašta (kranjska stena)	32
Slika 27: Skica lesene kašte	32
Slika 28: Lesena kašta s potaknjenci med gradnjo	33
Slika 29: Gradnja lesene kašte	33
Slika 30: Gradnja lesene kašte	33
Slika 31: Izgled lesene kašte.....	33
Slika 32: Skica živih fašin	34
Slika 33: Prikaz namestitve živih fašin	35
Slika 34: Zaščita brežine z živimi ščetkami	37
Slika 35: Prikaz vgradnje živih ščetk	37
Slika 36: Gradnja živega plota	38
Slika 37: Shema živih plotov	39
Slika 38: Prikaz vodne setve z dodatkom rastne pulpe	40
Slika 39: Kordonska zasaditev	41
Slika 40: Nadstrešno zavarovanje	42
Slika 41: Primer umetno ustvarjenih skrivališč za ribe	43
Slika 42: Kombinacija različnih inženirsko bioloških metod stabilizacije	45
Slika 43: Kombinacija klasične ureditve na peti brežine, nad njo sonaravna utrditev brežine vodotoka	46

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Odpornost vrbovih popletov.....	17
Preglednica 2: Mejne vrednosti hitrosti in strižnih sil zvitkov iz geotekstila, na podlagi podatkov proizvajalcev in empiričnih podatkov.....	20
Preglednica 3: Obstojnost žic v gabionih.....	22
Preglednica 4: Razdalja med vzporednimi fašinami	35

Ta stran je namenoma prazna.

1 UVOD

Vodotoki se med seboj razlikujejo. V svoji pojavnosti so enkratni, kakor tudi prostor, znotraj katerega so oblikovali in spreminjali svojo strugo, brežine in obvodni svet. Značilnosti vodotoka se spreminjajo od izvira s povirnim zaledjem, zgornjega (največkrat gorskega in hribovitega značaja), srednjega (prehodnega) do spodnjega (ravninskega) dela z izlivom v večji vodotok, jezero ali morje. Pri obravnavi je treba izpostaviti njihovo dinamiko. Zato vplivajo na številne procese; naravne (npr. večja krajinska pestrost in kompleksnost krajinske zgradbe v vidni zaznavi in privlačnosti za različne dejavnosti, ekosistemska raznovrstnost vodnega in obvodnega prostora – habitati, številne živalske in rastlinske vrste), na rabo vode (večja produktivnost v kmetijstvu), na upravljanje z vodo (količina in kakovost vode za oskrbo) ter negativne ali škodljive (erozija - odnašanje, plavljenje, odlaganje materiala; poplavljanje – ogrožanje življenj in premoženja/objektov in naselij, infrastrukture ...)

Oblike struge vodotokov se nenehno spreminjajo, bodisi po naravni poti bodisi zaradi antropogenega delovanja. Med naravnimi procesi so ključni pretok, erozija in sedimentacija, ki so odvisni od reliefnih in podnebnih razmer, matične podlage, površinskega pokrova. Soodvisnost procesov vpliva na izoblikovanost vzdolžnega in prečnega prereza struge, stabilnost dna in brežin, morfološke oblike ... Človek je začel v vodotoke posegati zelo zgodaj – v času, ko se je ustalil v prostoru in začel graditi stalna bivališča. Tudi prve naselbine so bile umeščene ob vodah (oskrba s pitno vodo, možnost transporta). Vrsta in obseg urejanja in izkoriščanja vodotokov sta se stopnjevala z naraščanjem znanja in razvojem tehnike, od začetnega globokega spoštovanja do popolnega podrejanja gospodarskim interesom. Le maloštevilni vodotoki, pa še ti v povirnem in zgornjem delu, so ostali naravno ohranjeni. Veliko več jih je bilo zaradi kmetijstva, energetske izrabe, umeščanja naselij in infrastrukture preoblikovanih ali celo popolnoma razvrednotenih. Zaradi industrije in neustrezne komunalne infrastrukture so vodotoki onesnaženi, prav tako pa so prisotne spremembe vodnih in obvodnih ekosistemov.

Zavedanje o grožnjah in pritiskih, nadaljnjih neposrednih in posrednih posledicah posegov, ekstremnih dogodkih in globalnih podnebnih spremembah na eni strani ter znanje in ozaveščenost o kompleksni prepletenosti okolja, medsebojni odvisnosti prvin in procesov na drugi vodita v nujnost premišljenega ravnanja z vodotoki. Celovit pristop je nujen še posebej tam, kjer se lahko pojavi prekrivajoča raba ali konfliktnost rabe voda. Konfliktnost rabe nastopi zaradi razvojnih interesov hidroenergetske izrabe, namakalnih sistemov za kmetijstvo, ribištva, turističnih, športnih in rekreacijskih dejavnosti, vezanih na vodo in obvodni prostor, ter odvzemanja naplavin, oskrbe s pitno vodo in varstva narave na eni strani ter urejanja voda, vključno z vodno infrastrukturo na drugi strani.

Številni vodotoki z obvodnim prostorom v Sloveniji predstavljajo sestavni del varovanih območij – omrežja območij Natura 2000 in ekološko pomembnih območij - nekateri pa so opredeljeni tudi kot naravne vrednote ali zavarovani kot naravni spomeniki. Zaradi tega je treba v načrtovanju stabilizacijskih ukrepov poleg funkcionalnih zahtev upoštevati tudi načela ohranjanja hidromorfoloških značilnosti strug, brežin in obvodnega prostora, varstva vodnih in obvodnih ekosistemov, habitate rastlinskih in živalskih vrst ter ohranjanja krajinske pestrosti in vidne privlačnosti vodotokov.

2 UREJANJE VODOTOKOV

2.1 Klasičen pristop k urejanju vodotokov

Da bi se preprečilo neposredno negativno delovanje vodotokov (poplavljanje, spodkopavanje, odnašanje, nasipanje, odlaganje plavin), se je struge kanaliziralo in poglobljalo. Zaradi povečanja hidravlične prevodnosti se je trase vodotokov izravnavalo, brežine preoblikovalo, obrežno vegetacijo pa se je odstranilo. Prav tako je človek z različnimi rabami in dejavnostmi posegal v neposredno bližino vodotokov ter jim odvzemal naravno pripadajoče obvodne površine. Zaradi sledenja načelu »vodo speljati čim hitreje mimo« so se lastnosti vodnih režimov bistveno spremenile, kar je vplivalo tudi na varnost območij dolvodno pred poplavami in erozijskim delovanjem. Vodotoki so izgubili tudi samočistilne sposobnosti, zato se je poslabšala kakovost vode.

Zaradi izravnave osi in spremembe vzdolžnih naklonov strug se je povečala hitrost vodnega toka in tako preprečilo odlaganje sedimentov, hranil in onesnažil. Človek je z enostransko načrtovanimi posegi v vodni in obvodni prostor prispeval, da so prej prostorsko omejeni dogodki preraščali v naravne nesreče vedno večjih razsežnosti. Posledice so ogroženost življenj, uničenje in poškodovanost stanovanjskih in gospodarskih objektov ter infrastrukturnih objektov in naprav, poplavljanje in odnašanje obdelovalnih površin in gozdov ter spreminjanje ekosistemov, vezanih na vodo.

2.2 Sonaravno urejanje vodotokov

Sonaravno urejanje vodotokov je sinteza med umetnim (inženirsko tehnično načrtovanje dna in brežin vodotokov, določitev točk struge, ki zagotavljajo ustrezno varnost pred poplavami) in naravnim (do neke mere dopustiti vodotoku, da si sam izoblikuje svojo strugo). Pri sonaravnem urejanju se poleg naravnih materialov (les, kamen) spodbuja uporabo živih gradiv za zaščito brežin pred vodno erozijo. Kljub temu pa še posebej na odsekih, kjer so brežine izpostavljene večjim erozijskim silam, ni izključena možnost uporabe drugih metod in umetnih gradiv. Pri inženirsko bioloških metodah stabilizacije se združuje interdisciplinarno znanje s področja vodarstva, gradbeništva, geologije, krajinske arhitekture, biologije in gozdarstva. Pri inženirsko bioloških tehnikah se uporablja odmrli in živi rastlinski material. Prednost inženirsko bioloških pred klasičnimi metodami je njihova večfunkcionalnost (Rusjan, 2009).

Z inženirsko biološkimi ukrepi se lahko prepreči ali omili rečno, površinsko vodno in snežno ter tudi vetrno erozijo. Z gradnjo inženirsko bioloških metod se prepreči škodljivo spiranje zemljin in s tem onemogoči razvoj hujših oblik, zlasti vodne erozije – brazdaste, jarkaste in

hudourniške erozije. S sonaravnimi utrditvami se lahko utrdi plazljiva in pogojno stabilna pobočja (Steinman in sod., 2009).

Inženirsko biološke metode v primerjavi s klasičnimi metodami stabilizacije za doseganje ustrezne stabilizacijske funkcije potrebujejo čas za razvoj. Čas je odvisen od hitrosti rasti uporabljenih potaknjencev, največkrat eno rastno sezono. Za ustrezno učinkovitost inženirsko bioloških metod je poleg same tehnike in časa izvedbe ter vrste in kakovosti rastlinskega materiala pomembno začetno negovalno in nato redno vzdrževanje, ki ga je treba načrtovati že ob pripravi projektov. Pomembno je zgodnje odkrivanje morebitnih poškodb ali nezadostnega razraščanja vegetacije. Odmrlo vegetacijo je treba nadomestiti, preveč razraslo pa selektivno razredčiti tako, da se omogoči enakomerna razrast manjših rastlin. Ob ustreznem vzdrževanju je življenjska doba inženirsko bioloških metod stabilizacije lahko petdeset ali tudi več let (Rusjan, 2009).

Za inženirsko biološke metode stabilizacije je potrebno zagotoviti dovolj prostora, saj mora struga vodotoka z obraslo brežino zagotavljati ustrezen pretok, da ne prihaja do zajezev in poplavljanja gorvodno. Površina prostora, ki je potrebna za ureditev zavarovanja, je odvisna od načina stabilizacije in gradnje. Pri načinu gradnje se glede na prostorske danosti odločamo za gradbeno mehanizacijo, ki ji je potrebno zagotoviti dostop do mesta vgradnje, ali ročno delo.

Se je pa treba zavedati vloge in namena gradnje različnih zavarovanj znotraj procesov načrtovanja, urejanja in vzdrževanja vodotokov in priobalnega prostora, kakor tudi širšega prostorskega okvira, saj namenska raba prostora in izvajanje različnih dejavnosti v zaledju vplivata na sedanje in bodoče stanje vodotokov. S preišljenim prostorskim načrtovanjem in presojanjem sprejemljivosti posegov je mogoče preprečiti marsikateri škodni dogodek, vsekakor pa omiliti obremenitve in posledice.

Funkcije, ki jih opravljajo inženirsko biološke metode stabilizacije, lahko razdelimo v štiri osnovne sklope: geotehnične, ekološke, ekonomske in estetske (vidno zaznavne) funkcije (Rusjan, 2009).

Med geotehnične funkcije spadajo varstvo vodotokov pred erozijo vodnega toka, površinsko erozijo, ki jo povzročajo padavine, veter ali zmrzovanje, in povečanje stabilnosti bolj strmih brežin z vzpostavitvijo koreninskega sistema in spremembo (zmanjšanjem) vlažnosti v tleh. Med ekološke funkcije uvrščamo spremembo temperature in vlažnosti v plasteh zraka ob zemljini, izboljšanje vlažnostnih razmer v tleh z dreniranjem, povečanje vodne kapacitete preko koreninskega sistema, pospešeno nastajanje humusa in tal, razvoj habitatov za različne rastlinske in živalske organizme, stabilizacijo temperature v vodotokih kot posledico

zasenčenosti brežin in vodne površine, zaščito pred erozivnim delovanjem vetra, izboljšano samočistilno sposobnost vodotoka in možnost sedimentacije onesnažil. Ekonomske funkcije zajemajo ureditev obdelovalnih površin in površin, namenjenih prostočasnim dejavnostim ter znižanje stroškov izvedbe in vzdrževanja zaradi uporabe krajevno dostopnega gradiva. Funkcija vidne zaznave omogoča vključitev rastlinskih prvin v obstoječo krajinsko zgradbo, ki tako prispeva h krajinski pestrosti in prostorski prepoznavnosti in privlačnosti (Rusjan, 2009).

2.3 Zakonodaja in cilji urejanja vodotokov

S ciljem ohraniti in izboljšati vodno okolje je Evropska skupnost leta 2000 sprejela Vodno direktivo (Direktiva, 2000), ki je osredotočena predvsem na kakovost voda, še posebej na zagotavljanje kakovostne pitne vode. Namen direktive je določiti okvir za varstvo voda, s katerim se preprečuje nadaljnje slabšanje stanja vodnih in z njimi povezanih ekosistemov, dobro stanje pa želi varovati in ga izboljšati. Spodbuja k trajnostni rabi vode in zmanjšanju onesnaženja voda (Marušič, 2005).

V Republiki Sloveniji upravljanje z vodami, vodnimi in priobalnimi zemljišči ureja Zakon o vodah. Urejanje voda obsega (Zakon o vodah, 2002):

- skrb za ohranjanje in uravnavanje vodnih količin,
- varstvo pred škodljivim delovanjem voda,
- vzdrževanje vodnih in priobalnih zemljišč,
- skrb za ugodno hidromorfološko stanje vodnega režima.

Pri urejanju voda morajo biti posegi načrtovani in izvedeni tako, da bistveno ne spreminjajo lastnosti vodnega režima in ne porušijo naravnega ravnovesja vodnih in obvodnih ekosistemov. To pomeni, da se spodbuja sonaravno urejanje vodnega okolja.

Glavni cilji, ki se jih želi doseči z urejanjem vodotokov (Strokovne podlage za pripravo Načrta upravljanja voda 2009-2015), so:

- zmanjšanje ogroženosti pred poplavami (varovanje urbaniziranih območij in državne infrastrukture pred visokimi vodami),
- ohranjanje retencijskih površin,
- sonaravno vzdrževanje strug,
- stabilizacija vodnega režima,
- vzdrževanje obstoječih objektov,
- izboljšanje stanja vodnega in obvodnega ekosistema.

Uporaba inženirsko biološke stabilizacije je skladna z zgoraj omenjenimi zakonodajnimi okviri. Z gradnjo se prepreči škodljivo delovanje voda (preprečevanje erozije, spodjedanje

brežin), izboljša se stanje vodnega ekosistema (poveča se samočistilna sposobnost vodotoka in sedimentacija), zagotavlja se ustrezen vodni in obvodni ekosistem za življenje organizmov (zatočišče, ustrezna temperatura, senca, vir hrane). Koreninski sistem vegetacije zadrži del vode in omogoča polnjenje podtalnice.

2.4 Namen diplomske naloge

V diplomski nalogi sem se osredotočil na možnost uporabe inženirsko bioloških metod, kjer se ob urejanju vodotokov istočasno uporablja tehnične (inženirske) in biološke metode za stabilizacijo, pri gradnji pa se uporablja naravna in še posebej živa gradiva. Na podlagi pregleda razpoložljive literature in virov ter možnosti uporabe v slovenskih razmerah so predstavljene različne tehnike in primeri dobre prakse.

Izbrane možnosti zavarovanj sodijo med rešitve tako v času preventivnega urejanja kakor tudi v času zaščitnega ukrepanja po erozijskih pojavih z namenom stabilizacije dna struge in brežin oz. odprave vzrokov za nastanek globinske in bočne erozije.

3 UKREPI ZA STABILIZACIJO VODOTOKA

Pregled inženirsko bioloških ukrepov za stabilizacijo rečnih strug je prikazan v prilogi na koncu diplomskega dela.

3.1 Ukrepi na dnu struge vodotoka

Z ukrepi v sami strugi vodotoka se zavaruje dno struge pred globinsko erozijo. Globinska erozija se pojavlja na površinah, kjer vertikalna komponenta erozijske sile vode preseže stopnjo odpornosti podlage, po kateri odteka. Voda se začne vertikalno zajedati v posteljico struge in povzroča njeno poglobljanje struge (Horvat (ur.), 2001).

3.1.1 Nizki pragovi

Pragovi so prečni objekti za utrditev dna struge, ki se vrstijo v zaporedju na relativno majhnih razdaljah. Z nizkimi pragovi se zmanjša padec vodotoka nad njimi, s tem pa hitrosti in strižne sile vode, ki delujejo na rečno dno. Posledično se zmanjša tudi erozijska in prenosna sposobnost vodotoka. (Rak in sod., 2008)

Pragovi so primerni za vodotoke z vzdolžnim padcem struge med 7 ‰ in 7 ‰. Nizke pragove, višine do nekaj 10 cm, se izvede z uporabo lesa (oblic ali večjih hlodov) in/ali kamna (Mikoš, 2001). Uporabi se lokalno dostopne materiale, kar zviša ekonomsko učinkovitost.



Slika 1: Pragovi na Jezernici (Avtor: Zakotnik)

Prag pri nizkih in srednje velikih pretokih ustvari lokalno zaježbo, pri visokih vodah pa pravilno dimenzioniran prag omogoča nemoten pretok. Lokalna zaježba lahko sega gorvodno do 40 % razdalje med posameznimi pragovi. Pod pragom se pojavi erozijski tolmun, ki lahko spodjede prag, zato mora biti prag ustrezno temeljen. V tolmunu se zmanjša hitrost vodnega toka, voda se obogati s kisikom, ribam se omogoči premagovanje višine praga.

Pri izvedbi je potrebno brežino ob robu praga ustrezno zaščititi pred spodjedanjem. Prag naj se vsaj 30 cm zajeda v brežino. Brežino se na tem mestu utrdi z inženirsko biološkimi metodami. Na mestu zaježitve je v počasi tekočih vodotokih smiselno zasaditi vegetacijo, ki senči vodo, da se preprečijo evtrofikacija, segrevanje in razrast alg (Vrhovšek in Vovk Korže, 2009). Pragovi so različnih oblik, os preлива je lahko pravokotna, poševna, bočna, sestavljena (V-prag). V primeru nizkih pretokov je del krone praga znižan tako, da se omogoča neoviran prehod ribam in minimalen pretok vode. Projektirani pa morajo biti tako, da pri visokih vodah zagotavljajo odtok vode brez škodljivih posledic gorvodno (ogrožanje prečne zgradbe) in dolvodno (erozija in spodjedanje).

3.1.2 Jezbice (odbijači toka)

Jezbice so vodne zgradbe, ki so temeljene v brežino vodotoka in so postavljene prečno na smer vodnega toka. Namen jezbic je krajevna preusmeritev (odbijanje) toka stran od izpostavljenе brežine ali pa sprememba tlorisnega poteka vodotoka (Mikoš, 2001).

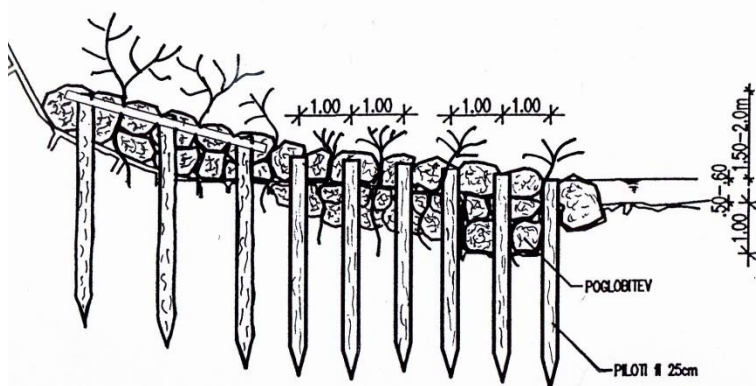
Oblikovane morajo biti tako, da so naslonjene na brežino na tak način, da ne zaustavljajo glavnega toka vodotoka in da ne povzročajo zastojev vode ter spodjedanja brežine. Jezbica lokalno preusmerja nizke do srednje velike pretoke vode, poplavne vode pa stečejo čeznjo. Uporablja se jih za zavarovanje gorskih izpostavljenih vodotokov in na ravninskih vodotokih, kadar se želi z usmeritvijo proti sredini struge pospešiti hitrost vodnega toka in zmanjšati sedimentacijo. Jezbice - odbijače toka se največkrat namešča zaporedoma, na ustrezni medsebojni razdalji, ki znaša 2,5-kratnik dolžine odbijača, širina pa ne sme zasedati več kot $\frac{1}{3}$ širine struge vodotoka (Vrhovšek in Vovk Korže, 2009). Na spodnji sliki je prikazan primer uporabe jezbic za pospešitev hitrosti vode in zmanjšanja sedimentacije na reki Ruhr v okolici Bochuma v Nemčiji.



Slika 2: Inženirsko biološka ureditev jezbic v ravninskem vodotoku (Vir: <http://de.wikipedia.org/wiki/Buhne#mediaviewer/Datei:Ruhr.jpg>)

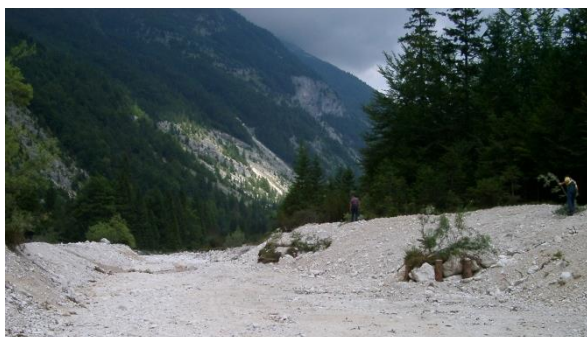
Jezbice - odbijači predstavljajo ureditev, ki se jo lahko uporabi tudi za sonaravno ureditev vodotokov, še posebno na odsekih, kjer ni dovolj prostora za oblikovanje meandrov. Za jezstico se ustvari tolmun, kjer nastajajo vrtinci, ki povečajo hitrost vodnega toka in nasičenost vode s kisikom. Jezbice povišajo višino vodne gladine, zmanjšajo vrednost koeficienta hrapavosti in povečajo samočistilno sposobnost vodotoka.

Jezbice so sestavljene iz ustrezno sidranih in glede na širino vodotoka medsebojno primerno oddaljenih lesenih pilotov ustreznega premera. Sidrani piloti morajo biti medsebojno povezani z eno ali dvema rantama. Jezbice se napolni s čim večjimi skalami, vmesne prostore pa se zapolni z lomljencem in drobirjem. V zgornjem delu jezstice se reže znotraj polnila zasuje z zemljino in vanje vsadi potaknjence ter izvede setev semenske mešanice trav in zeli ali položi poprej pripravljeno travno rušo.



Slika 3: Skica jezstice - odbijača toka (Vir: VGP Soča, 1999)

Gradnja jezstice je enostavna in stroškovno ugodna, saj se uporablja lokalno dostopne materiale. Po gradnji, posebno ob visokih vodah, je potrebno redno preverjanje stanja jezstice (izpadanje skal in polnila izza pilotov, poškodbe lesenih delov).



Slika 4: Niz jezstice na Suhem potoku v Zadnji Trenti (Avtor: Zakotnik)



Slika 5: Izgled jezstice na Suhem potoku v Zadnji Trenti (Avtor: Zakotnik)

3.2 Ukrepi na brežini vodotoka

Ogroženost z bočno erozijo je posledica delovanja globinske erozije ali posledica vijuganja vodnega toka. Zaradi delovanja globinske erozije na dno struge se brežine porušijo, ker izgubijo oporo v vznožju. Ker pri vijuganju vodnega toka na brežino deluje horizontalna komponenta erozijske sile vode, pride do spodjedanja brežin ali vznožij (pet) pobočij, kar vodi v njihovo udiranje in rušitev. Porušitev brežine je lahko tudi posledica ovir (mostni oporniki, podrta drevesna debla, razrasla vegetacija, balvani ...) na brežini vodotoka v primeru visokih voda. Ovire lokalno povzročajo vrtinčast vodni tok, ga preusmerjajo v ogroženo brežino in jo posledično zajedajo in spodjedajo (Horvat (ur.), 2001).

3.2.1 Zaščita s kosmatim lesom

Zavarovanja, zgrajena iz podrtih dreves oz. s »kosmatim lesom«, se uporabljajo za preusmeritev erozijskih tokov, kadar želimo ohraniti čim bolj naraven izgled brežine, predvsem pa se zmanjša vpliv zajedanja vode v poškodovane brežine in nekoliko upočasni vodni tok.

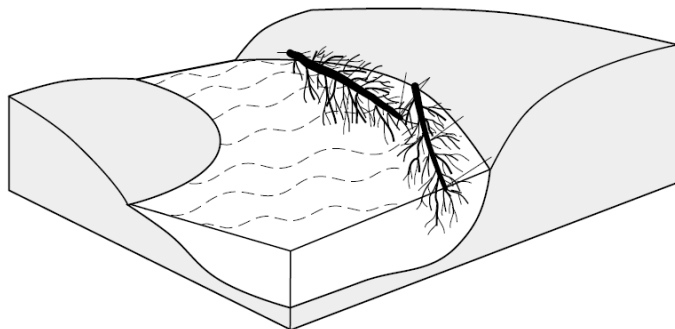
Zaščita s kosmatim lesom je med najstarejšimi ureditvami, uporabljali so jo že Rimljani. Predstavlja tehniko, pri kateri so podrta drevesa iglavcev (s krošnjo vred) med seboj povezana ter ustrezno pritrjena med skalomet/kamnomet in brežino, na katero so dodatno privezana in sidrana. Ureditev je primerna za brežine do višine 3,70 m in hitrosti vodnega toka do 1,80 m/s (FISRWG, 1998).

Stroškovno je ugodna in zagotavlja takojšnjo zaščito, vendar pa predstavlja začasno rešitev, saj je na dolgi rok treba izvesti tudi druge ukrepe. Priporočljiva je za vodotoke z nestabilno strugo. Z zgradbo je priporočljivo zasesti največ do 15 % proste površine celotne rečne struge (FISRWG, 1998). Drevesa se položijo vzporedno z osjo struge in tako, da ne zajezijo struge. Najprimernejši so iglavci s poraščeno krošnjo in gibkimi vejami. Potrebno je zagotoviti ustrezno pritrnitev drevesnih debel – sidranje s koli in pričvrstitev z vrvjo ali žico. Omogočajo sedimentacijo plavin in vzpostavljajo življenjski prostor vodnim organizmom.

Tehnika ni primerna na odsekih vodotokov z ozko strugo (nevarnost zajezitve). Zavarovanja ni priporočljivo graditi gorvodno od mostnih opornikov in/ali drugih zožitev, saj se lahko ob poškodbi ali dotrajanosti zgradbe odnešena debla ustavijo in zagozdijo na zožitvi ter z ostalim plavjem povzročijo zajezitev ter ustavljanje in zadrževanje plavin.

Rešitev je enostavna, pri izvedbi se uporablja lokalno dostopen material, zahteva pa je predvsem fizično delo. Obloge imajo omejeno življenjsko dobo, zato jih je potrebno večkrat obnoviti. Oblogo lahko poškoduje tudi led. Po vzpostavitvi zavarovanja je potrebno redno

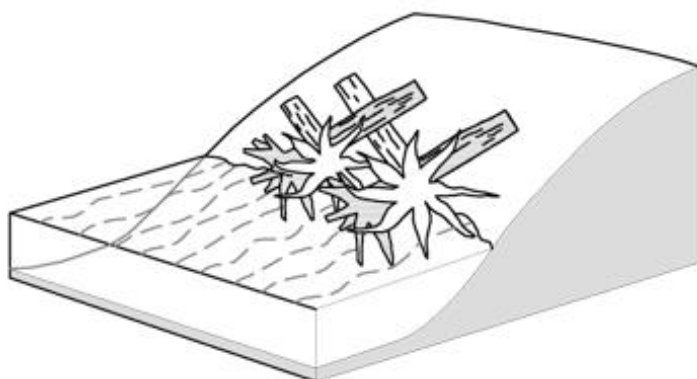
pregledovanje (npr. prisotnost gnitja lesa, mesta pritrditve oz. sider ter stanje jeklenic),
vzdrževanje in nadomestitev poškodovanih ali odnešenih debel.



Slika 6: Prikaz zaščite s kosmatim lesom (Vir: FISRWG, 1998: str. 577)

3.2.2 Zaščita brežine s hlodovino

Za zaščito brežine se uporabi odpadli les (debla požaganih, podrtih ali poškodovanih dreves) v kombinaciji z zasaditvijo lesnatih rastlin. Odmrli les zagotavlja takojšnjo zaščito, medtem ko posaditev vegetacije v obliki potaknjencev po razrasti koreninskega sistema nudi dolgotrajnejšo zaščito brežine.



Slika 7: Zaščita brežine s hlodovino (Vir: NCHRP, 2005)

Pri načrtovanju je treba izračunati vse sile, ki delujejo na hlodovino. Pri računanju se upošteva vzgon, obtežitev, sidrno silo ... Sile, ki stabilizirajo (obtežitev, sidranje), morajo biti večje od vodnih sil (vzgon, strižne sile). Zavarovanje s hlodovino je primerno za vodotoke, v katerih so hitrosti vode do 3 m/s (NCHRP, 2005). Zgradba se umešča v zavojih, kjer so vodne sile največje in imajo najbolj neugodno delovanje na brežino. Tehnika ni primerna za vodotoke, ki pozimi zamrznejo. Za gradnjo zaščite iz hlodovine se potrebuje les, ki je dovolj odporen (npr. zoper gnilobo) in po možnosti tudi krajevno razpoložljiv. Debla morajo biti ustrezne debeline, da lahko kljubujejo vodnim silam. Priostrene konce debel se pod kotom zabije v strugo vodotoka, tako da je del debla z vejami v vodi. V brežino se zabije 3 do 4 debla in se jih medsebojno preplete s tremi vrvmi in po potrebi še priveže. Preveliko število debel lahko povzroči zajezitev vodotoka. Zgradba mora biti ustrezno sidrana. Za obtežitev

debel in utrditev zgradbe se uporabi večje skale ali balvane. Pred fazo saditve lesnate vegetacije se pripravi primerno velike veje izbranih vrst, ki se jih predhodno namoči in shrani v senci. Potakniti je treba zadosti gosto mrežo rastlinskih potaknjencev, ki prispevajo k stabilnosti brežine.



Slika 8: Vgrajena zaščita s hlobovino (Vir: NCHRP, 2005)

Z vgradnjo hlobovine se zmanjšajo hitrosti in strižne sile na brežino, kar zagotavlja takojšnjo zaščito brežine pred nadaljnjim spodjedanjem in erozijo vodnega toka. Ker za debli nastajajo vrtinci, se za njimi pojavijo tolmeni, v katerih se zniža hitrost vodnega toka, tako da omogočajo usedanje sedimentov in ustvarjajo ali izboljšujejo ekosistemske razmere za ribje populacije. Dodatno ustrezen izbor grmovnih in drevesnih vrst, uspešna saditev in razvoj vegetacije z razvejano razvitim koreninskim sistemom stabilizira celotno brežino, omogoča rast avtohtonim rastlinskim vrstam in naravno sukcesijo ter prispeva k sonaravni podobi saniranega odseka vodotoka.

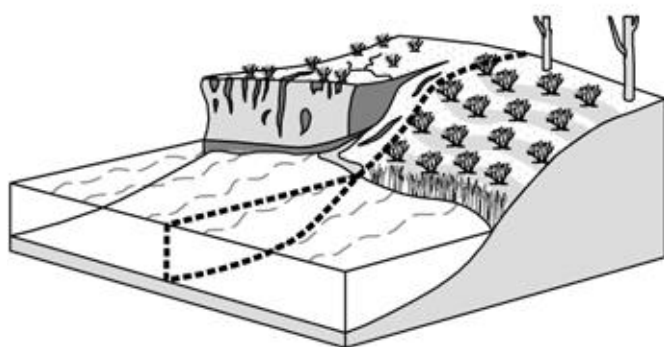
Zaščita brežine s hlobovino je enostavno in hitro izvedljiv ukrep. Primerjalno so stroški izgradnje zavarovanja s hlobovino tudi do polovice nižji od ostalih tehnik. Seveda pa je učinkovitost zavarovanja odvisna od geomorfologije in vodnega režima (velike hitrosti in strižne sile, večkratna visoka voda). Življenjska doba vrste zavarovanja je 5 do 15 let. Skladno s pričakovano vzdržljivostjo se uporabi ustrezno vrsto lesa (npr. za daljše obdobje hrast, za srednje dolgo obdobje iglavci in jelša za krajše obdobje), upoštevati pa je treba tudi specifične razmere lokacije in naravno prisotne organizme, ki lahko škodujejo lesu (npr. bobri, mikroorganizmi).

Zgrajeno zavarovanje zahteva redno pregledovanje, vzdrževanje in nadomeščanje morebiti poškodovanih delov zaščite.

3.2.3 Preoblikovanje naklonov in zasaditev brežine

Ureditev s postopnim zmanjšanjem naklona se uporablja za zavarovanje in zagotavljanje stabilnosti brežin, ki so zaradi velikih naklonov podvržene spodkopavanju, .

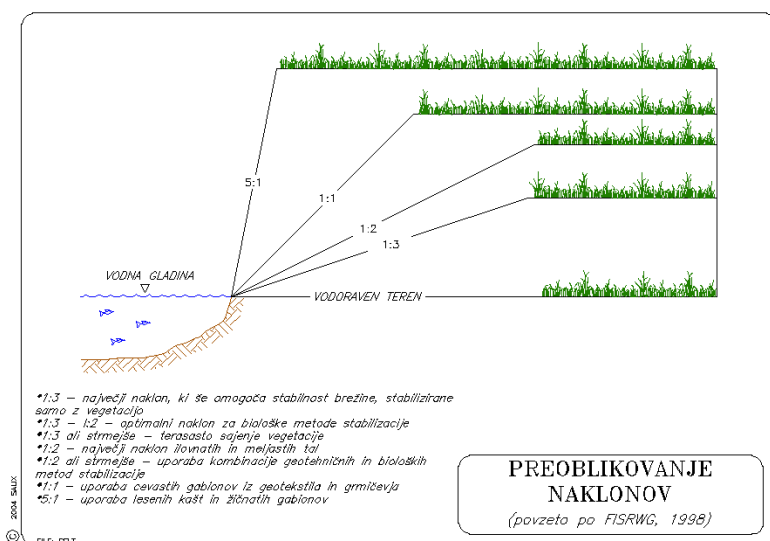
Ukrep je najuspešnejši na rečnih brežinah, kjer je erozija zmerna in ne pričakujemo premika struge v brežino. Peto brežine je potrebno utrditi z večjimi, med seboj zaklinjenimi kamni. Prilagoditev naklonov se izvaja predvsem tam, kjer hitrost vodnega toka lahko povzroča erozijo brežine in onemogoča rast rastlin. Pred izvajanjem del je potrebno izvesti analizo stabilnosti brežine.



Slika 9: Preoblikovanje naklonov (Vir: NCHRP, 2005)

Prilagoditev naklona se običajno opravi v povezavi s še drugimi načini stabilizacije brežine, kot so zaščita brežine, vgradnja drenažnih sistemov, dosaditev drevnine, prekritje z vrvnim pletivom (npr. kokosovo prekrivko ...). Z zasaditvijo drevesnih in gmovnih vrst se izboljšajo tudi možnosti naselitve pionirskih obvodnih domačih vrst.

Naklon brežin je eden izmed glavnih dejavnikov za stabilnost (Hutchinson, 1978). Brežine s strmejšim naklonom so bolj izpostavljene površinski eroziji in zmanjšanju stabilnosti, zato se zmanjševanje naklona brežine ponudi kot zelo dobra možnost stabilizacije (Abramson in sod., 1996). Večina tal je stabilnih pri razmerju med višino in širino od 1:2 do 2:5. 1:3 je največji možni naklon, ki še omogoča uspešno zasaditev vegetacije brez izvedbe ostalih inženirsko bioloških metod stabilizacije, pri slednjih je lahko naklon pod kotom 1:2. Naklon 2:3 je skrajni naklon, ko se za stabilizacijo uporablja kamnomet/skalomet. Pri naklonu 1:1 se za stabilizacijo uporablja cevaste gabione. Pri naklonih 5:1 se za stabilizacijo uporabljajo lesene kašte in porasli gabioni. Znižanje naklona je odvisno tudi od vrste tal; ilovnata in meljasta tla imajo lahko naklon 1:2, na lapornatih in flišnih tleh pa se naklonov ne sme preoblikovati.



Slika 10: Skica naklonov (Vir: NCHRP, 2005)

Zahtevnost izvedbe blažjega naklona je relativno nizka, potrebna pa je gradbena mehanizacija, in sicer bager na kolesih z zadostnim dosegom za oblikovanje naklonov, buldozer za odrivanje ali odstranjevanje materiala, nakladač, tovornjak za transport.

Zmanjšanje naklona se doseže na več načinov:

1. z odvzemom materiala blizu zgornjega roba brežine,
2. z dodajanjem materiala na dnu brežine,
3. s postavitvijo inženirske zgradbe (npr. kašte, gabionov ...) v spodnjem delu brežine, nad in za njo pa z zapolnjevanjem z materialom v položnem naklonu,
4. preoblikovanje brežine v izravnane terase z vmesnimi ježami z večjim naklonom.

Z oblikovanjem položnih brežin je omogočena enostavnejša vzpostavitev lesnate vegetacije. S tem so dane možnosti tudi za naselitev obvodnih organizmov (ptiči, mali sesalci...). Manjši nagib brežin omogoča tudi nadelavo tematskih in rekreacijskih poti ter prostočasne dejavnosti. Znižani naklon ustvarja v vodotoku večjo hrapavost v prečnem prerezu in zmanjša učinke vodnih tokov v rečnih zavojih. Povečana hrapavost zmanjša povprečne in lokalne hitrosti, kar upočasni erozijo in poveča sedimentacijo. Brežine, katerim se postopoma zmanjša naklon, je treba vedno ustrezno zavarovati, ker vodna in površinska erozija zaradi padavin zmanjšujeta stabilnost. Nezaščiten zemljina zdrži hitrosti do največ 3,3 m/s (NCHRP, 2005). Tako je treba peto brežine zavarovati s skalometom ali kamnometom, brežino pa zasaditi z lesnato vegetacijo, zatraviti ali pokriti s folijo ...

Glavne prednosti preoblikovanja naklonov sta enostavna izvedba in možnost uporabe z ostalimi inženirsko biološkimi tehnikami. Stroškovno je ugodna, seveda pa vrednost del narašča z razsežnostjo pobočja oziroma prostornine zemljine, ki jo je treba odpeljati in ustrezno odložiti.

Omejitve, ki lahko vplivajo na izvedbo ukrepa, so prostorske oziroma lastniške (s poseganjem v brežine in pobočje nad vodotokom so površinske razsežnosti ureditev večje in pogosto zahtevajo odškodnine ali ureditev služnosti na zemljišču v tuji lasti) ali pa se spremeni prečni prerez vodotoka (preoblikovanje dna struge ali pete brežine).

So pa zaradi znižanja naklona možni negativni vplivi, saj se lahko uniči življenjski prostor pticam (npr. obrežnim lastovkam), ki gnezdijo na policah strmih brežin. Nižanje naklona se uporablja doseganje globalne stabilnosti, za preprečevanje površinske erozije pa ne zadošča. Ukrep zahteva ustrezen nadzor pri izvedbi in spremljanje stanja, po potrebi tudi vzdrževalne in obnovitvene posege. Posebno pozornost je treba nameniti zaščiti pete brežin, funkcioniranju drenažnega sistema in uspešnosti zasaditve vegetacije na brežinah.

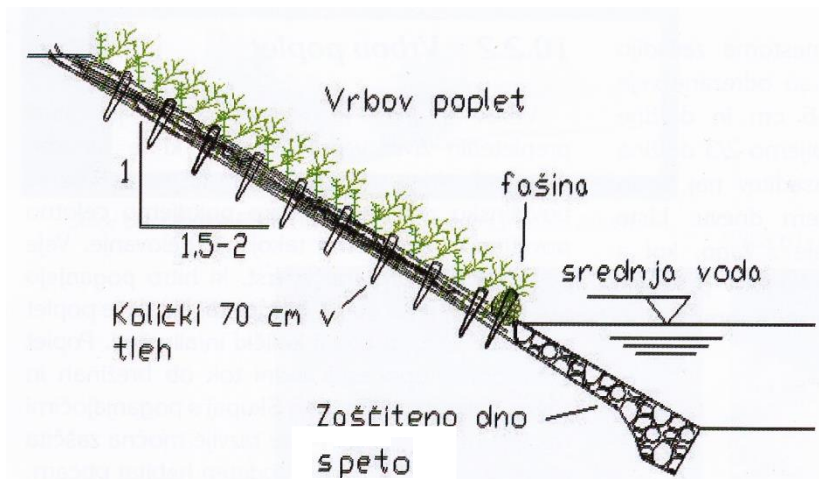
3.2.4 Poplet (vrbov poplet)

Poplet je 15 do 30 cm debela »odeja«, sestavljena iz prepletelih živih vej in potaknjencev, ki se jih ukorenini v rečno brežino. Zavarovanje se gradi nad višino vodne gladine. Vznožje brežine, ki je pod vodo, se zaščiti s skalometom in/ali fašinami.

Uporablja se za brežine, na katerih je potrebna takojšnja zaščita. S popleti in hitrim ukoreninjenjem se večja sposobnost obnavljanja avtohtone obrežne vegetacije, hkrati pa se vzpostavlja ali obnavlja življenjski prostor obvodnim organizmom. Ob visokih vodah je mogoča povečana sedimentacija.

Popleta se ne sme uporabljati pri naklonih brežin, za katere je velika možnost drsenja oziroma obstaja nevarnost, da se brežina sesede. Veje oz. primeren odpadni les se položi na brežino in se ga diagonalno z vrvjo v dveh smereh pritrdi nanjo. Vrv je treba ustrezno pritrditi. Med veje in mrežo se potakne mlade potaknjence.

Najpogosteje se uporabijo vrbe oz. vrbovi potaknjenci zaradi njihovega koreninskega sistema in prilagojenosti na vlažnostne razmere v tleh. Če je zaradi velikosti brežine treba narediti več popletov, se morajo ti na koncih prekrivati vsaj za 30 cm.



Slika 11: Vrbov poplet (Vir: Vrhovšek in Vovk Korže, 2009: str. 140)

Zahtevnost oblikovanja vrbovih popletov je zmerna. Optimalni naklon uporabe (vrbovega) popleta je 1:2, lahko tudi 4:5, a je pri tem naklonu brstenje potaknjencev predvsem na osrednjem delu oteženo zaradi možnosti pojavljanja zračnih žepov. Če je brežina sestavljena iz kamnitega materiala, je treba nanjo nasuti vsaj 45 cm zemljine, da se potaknjencem omogoči razvoj koreninskega sistema (Allen in Fischenich, 2001). Uspešnost preživetja potaknjencev je odvisna od vrste tal, osončenosti, letne količine padavin, nivoja vodostaja ...

Glede na vrsto zemljine na brežini in njeno erozivnost je treba (vrbov) poplet ustrezno pritrditi na vrhu ali ob peti brežine ali na obeh koncih. Ob morebitnem pojavu zalednih voda je potrebno urediti drenažni sistem za odvod le-teh mimo (vrbovega) popleta. Drenažo se izvede tako, da se pod poplet položi zrnat filter ali ustrezno geomembrano (Allen in Fischenich, 2001).

Potaknjenci v popletih hitro poženejo koreninski sistem, površinsko kritje pa zmanjša površinsko erozivnost in s tem stabilizira zemljino rečne brežine. Ob visokih vodah vrbovi popleti prestrezajo sedimente, tako da se poveča možnost rasti ostalih obvodnih rastlin in ustvarjanja novega življenjskega habitata. Sčasoma popleti z rastnimi cikli omogočajo naselitev drugim rastlinskim vrstam.

Z vgradnjo (vrbovega) popleta in izgradnjo kamnite pete brežine se v vodotoku zmanjšajo hitrosti vodnega toka in poveča strižna odpornost brežine. Vrbovi popleti po testnih preizkusih stabilizirajo brežino za hitrosti, večje od 7 m/s (NCHRP, 2005). Bolj podrobne vrednosti so navedene v spodnji preglednici.

Preglednica 1: Odpornost vrbovih popletov (Vir: Allen in Fischenich, 2001)

Tip vrbovega popleta	Hitrost [m/s]	Strižna odpornost [N/m ²]
Brez zaščite pete brežine, pred zaraščanjem	< 2,7	20-146
Brez zaščite pete brežine, zaraščeno	< 3,4	195-342
Z zaščiteno peto brežine, pred zaraščanjem	3,4	39-200
Z zaščiteno peto brežine, zaraščeno	8,2	195-390

(Vrbovi) popleti zagotavljajo takojšno površinsko zaščito pred erozijo, ker močno zmanjšajo hitrost vodnega toka. Potaknjenci so na voljo v lokalnem vodnem okolju, zato je gradnja zelo ekonomična. Dokaj hitra zarast vegetacije ustvarja primerno življenjsko okolje obvodnim živalim. S popleti urejene brežine po poplavah omogočajo hitro obnovo obrečne vegetacije. Poplete je potrebno namestiti v nevegetacijskem obdobju, pozno jeseni, pozimi ali zgodaj spomladi. Popleti se slabše oz. se sploh ne morejo ukoreniniti, kadar (spodnji) bazalni konec popleta ni v stiku z vodo oz. le-te ni v času vegetacijske sezone, se uporabi neustrezne potaknjence (starost, nenamočenost ...), se konce potaknjencev slabo utrdi, v brežini se ne zapolni praznin in v sušnem obdobju se potaknjence pozabi oskrbovati z vodo.

Za poplete se najpogosteje uporabljajo vrbove veje in vrbovi potaknjenci (stebila z vejicami) zaradi sposobnosti hitrega razmnoževanja. Zaradi močnih in prožnih vej so najprimernejše vrste beka, črnikasta vrba, rdeča vrba in mandljasta vrba. Za kvadratni meter popleta na brežini potrebujemo 10 do 50 potaknjencev dolžine 1,5 do 3 m premera do 4 cm in starosti 2 do 3 leta. Potaknjence se sadi isti dan, ko so odrezani. Če so odrezani dalj časa, se jih za en dan namoči v vodo (McCullah, 2004).

Najprej je potrebno ustrezno pripraviti brežino, in sicer je potrebno s prstjo zapolniti vse globlje žepe, ki bi pod popletom onemogočali razvoj koreninskega sistema. Potrebno je izkopati horizontalni jarek globine 20 do 30 cm, v katerega položimo vrbove potaknjence (Allen in Fischenich, 2001; McCullah, 2004). Na medsebojni razdalji 60 do 90 cm s kladivom zabijemo lesene količke, mednje položimo potaknjence v razmiku 6 do 30 cm. Njihovi konci morajo biti v vodi. Najbolje je, če jih fiksiramo kar v kamnito zaščito pete brežine, kakor je prikazano na spodnji sliki. Čez potaknjence med količki povežemo vrvi iz naravnih vlaken ali pa prepletano žičnato mrežo, ki potaknjence stabilizirajo. Konce potaknjencev dobro zasipljemo z izkopanim materialom. Če ga ni dovolj, zemljino pripeljemo in jo potlačimo s hojo okrog koncev. Z vedri vode speremo stebila, da zagotovimo dober stik z zemljino.



Slika 12: Vgradnja vrbovega popleta (Vir: NCHRP, 2005)

Stroškovno so popleti dostopna metoda. Uspešnost izvedbe je odvisna od kakovosti gradiva (potaknjencev), dobre utrjenosti podlage in oskrbe koreninskega sistema z vodo. Prav tako je smiselno preverjati zanesljivost kamnite zaščite pete brežine zaradi možnosti spodjedanja ter morebiten nastanek ovir v vodotoku, ki lahko povzročijo nastanek jezov.

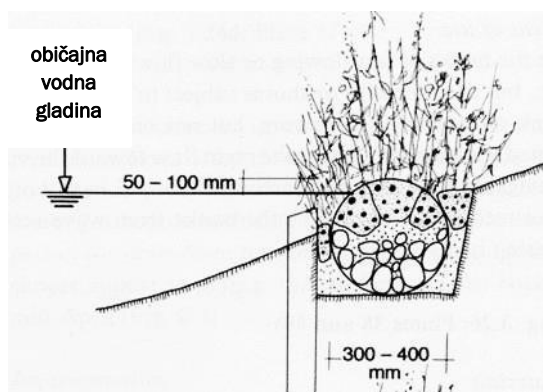
3.2.5 Zvitki iz geotekstila

Zvitki iz geotekstila so podolgovato valjasto/cilindrično oblikovane strukture, ki jih namestimo na peto brežine vodotoka. Tehnika je bila razvita v Nemčiji. Zvitke iz geotekstila se uporablja v povezavi z novimi potaknjenci, tako da v obliki »mehke« zaščite učinkovito varuje peto brežine pred erozijo, dokler vegetacija ne razvije dovolj močnega koreninskega sistema, ki nato lahko samostojno stabilizira in varuje brežino. Zvitke se uporablja v vodotokih s konstantnim pretokom in manjšo širino struge ter z nizko do zmerno hitrostjo in strižno napetostjo. Zavarovanje je primerno za vodotoke, na katerih je stabilizacija brežine izvedena s skalometom/kamnometom na nivoju vodne gladine, nad njo pa z zasaditvijo. Namešča se jih na izpostavljenih straneh okljukov, saj vegetacija v zvitku poveča hrapavost, upočasni hitrost vode, pomaga ščititi brežino pred spodkopavanjem in omogoča sedimentacijo usedlin ter s tem oblikuje razmere za obnovo ali razvoj novega habitata.



Slika 13: Zvitke iz geotekstila (Vir: <http://www.co.winnepago.wi.us/lwcd/project/category/lwcd-project-category/shoreline-habitat-restoration>)

Zvitki iz geotekstila imajo visoko natezno trdnost (NCHRP, 2005). Najpogosteje se za zvitke uporablja kokosova vlakna, ki so biorazgradljiva in imajo veliko sposobnost zadrževanja vlage. Izvedba namestitve geotekstilnih mrež ni zahtevna, ker so že tovarniško izdelane. Poskrbeti je treba za izkop ustreznega jarka (v širini zvitka) in pravilno namestitev. Zvitke se lahko poljubno prilagaja različnim oblikam vodotoka. Na peti brežine se lahko zgradi zaščita iz okroglic ali skalometa/kamnomete. Za namestitev zvitka je potrebno z bagerjem z ozko žlico izkopati plitev jarek ob vodni strugi tako, da bo zvitke 5 do 10 cm nad vodno gladino, kakor je prikazano na spodnji sliki.



Slika 14: Prikaz namestitve zvitka iz geotekstila (Vir: NCHRP, 2005)

Ob zvitku na razdalji 60 do 120 cm zabijemo lesene količke debeline 5/5 cm in dolžine 90 cm (od tega vsaj 30 cm pod nivo jarka), na katere se priveže zvitke. Ko je zvitke pritrjen, se za njim nasuje zemljo, na brežini pa izvede zasaditev z izborom lesnatih vrst.

Zvitki imajo naraven videz, zato se nemoteče prilagodijo krajinskim značilnostim obrežnega prostora. Oblikujejo mehak naravni prehod med vodotokom in brežino. Pomagajo tudi

vzpostaviti naravne habitatne pogoje v obrečnem prostoru. V zvitek in na brežino lahko posadimo obvodne rastline (npr. travna ruša, šaši, trst ...).

Okvirno zvitki prenesejo 10 do 140 N/m² (Vrhovšek in Vovk Korže, 2009).

Preglednica 2: Mejne vrednosti hitrosti in strižnih sil zvitek iz geotekstila, na podlagi podatkov proizvajalcev in empiričnih podatkov (po Allen in Fischenich, 2001)

Tip zvitka iz geotekstila	Hitrost [m/s]	Strižna odpornost [N/m ²]
Zvitek iz kokosovih vlaken, brez kamnite zaščite pete	< 1,5	10-39
Zvitek iz polipropilenskih vlaken, brez kamnite zaščite pete	< 2,4	39-146
Zvitek iz kokosovih vlaken, z zaščiteno peto brežine	< 3,7	>146

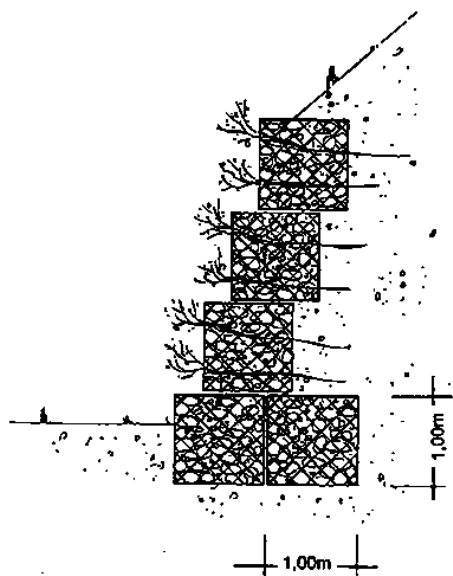
Zvitki niso primerni za vodotoke z veliko drobirsko obremenitvijo in vodotoke, kjer se pojavi možnost zamrznitve. Sama montaža in zvitki zahtevajo večja denarna sredstva.

Stroške zavarovanja predstavljajo predvsem vrednost zvitka in lesnatih rastlin, izdelava lesenih količkov, povezovalne vrvi ter stroški dela (izkop jarka, namestitvev količkov in vrvi, zasaditev).

Sama (kokosova) vlakna so trpežna, vendar je življenjska doba zvitek relativno kratka, samo 6 do 10 let. Zaradi tega je treba za stabilizacijo brežine zasaditi rastline, ki s svojim koreninskim sistemom v tem obdobju že stabilizirajo brežino. Za uspešno rast je treba zagotoviti dovolj naravne vlage – ob pomanjkanju je možno namestiti namakalni sistem. Stanje lesenih količkov in vrvi (npr. propadanje zaradi vlažnosti) je treba redno spremljati. Učinkovitost zvitek je odvisna od pravilnega načrtovanja (npr. ustreznost vhodnih podatkov o strižnih silah) in izvedbe (npr. kakovost spojev med posameznimi zvitki, ustreznost sidranja s količki ali z vrvjo, trajnost količkov ali vrvi, zasaditev pravilno izbranih rastlinskih vrst, prisotnost zadostne vlažnosti za rast vegetacije). Peščene ali kamnite brežine je treba humusirati, da bo omogočena rast.

3.2.6 Porasle žičnate košare (porasli gabioni)

Gabioni so žičnate košare kvadraste oblike, izdelane iz dvojno prepletene pocinkane ali plastificirane žice. Mreže se na delovišču sestavi v košaro, visoko 50 do 100 cm, napolni s kamnitim materialom in zapre s sponkami (Nardin in sod., 2006). Sadike lesnatih rastlin se v košare potisne skozi mrežo in polnilo pred zaprtjem, najpogosteje pa se potaknjence podtakne med dve košari.



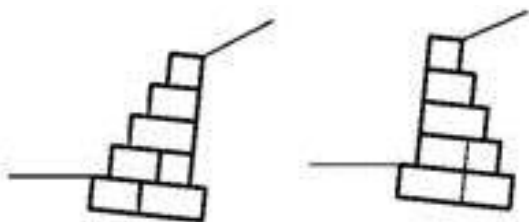
Slika 15: Skica poraslih gabionov (Vir: Progetto F.R.A.N.E., 2005)

Gabione se uporabljajo za stabilizacijo visokih in zelo strmih brežin (tudi za naklone, večje od 2:3), kadar ni dovolj prostora za druge inženirsko biološke stabilizacijske ukrepe, in na brežinah, kjer so strižne sile tako velike, da zavarovanje z skalometom/kamnometom ne bi zdržalo, neuspešna pa bi bila tudi zgolj stabilizacija in zaščita strme brežine z vegetacijo. Nedorasli gabioni imajo krajšo življenjsko dobo kot porasli, porasle košare pa omogočajo življenjski habitat obvodnim organizmom.

Žičnate košare se lahko uporabijo za stabilizacijo rečnega dna, za odbijače toka, preusmernike toka ... Zgradbe so primerne tudi, ko hitrost vodnega toka presega 2 m/s (NCHRP, 2005). Največja hitrost vode v vodotoku, ki dopušča gradnjo poraslih gabionov, je 4,3 m/s (Fischenich, 2001).

Gradnja gabionov je srednje zahtevna, upoštevati je treba več dejavnikov: temeljenje in kot postavitve košar ob brežini, polnilo, kakovost žic košar, filtrska plast med košaro in brežino, vrsta lesnatih rastlin in način sajenja.

Vrsta polnila v košarah se izbira glede na pričakovane hitrosti vodnega toka. Uporabiti je treba polnilo ustreznega premera (da ne izpada iz košar), brez ostrih robov (preprečevanje poškodb žice). Za zagotavljanje ustrezne varnosti je priporočljivo košare postaviti na ustrezen temelj, ali pa peto brežine zaščititi s kamnitim oblaganjem. Višina zloženih košar, skupaj s temeljem, ne sme presegati 3 m (NCHRP, 2005). Košare morajo biti naslonjene na brežino vsaj pod kotom 6 °.



Slika 16: Prikaz namestitve gabionov (Vir: NCHRP, 2005)

Pri oblikovanju je treba upoštevati vrsto žice, iz katere so mreže košare. Od kakovosti žice je odvisna obstojnost košar. Obstojnost košar je prikazana v spodnji tabeli.

Preglednica 3: Obstojnost žic v gabionih (po Racin in Hoover, 2001)

Stanje terena	Plastificirana žica [leta]	Pocinkana žica [leta]
Urbana/mestna območja (možnost vandalizma)	1	1
Plaža (izpostavljenost valovanju)	1,5-4	1,5-4
Obalni pas (ciklično plimovanje, valovanje zaradi vetra)	>16	3-6
Obalni pas, kjer je možno abrazivno izpiranje brežine	9-15	9-15
Zasičene zemljine	>16	10
Stoječa sladka voda, nizek delež raztopljenega kisika	>16	10
Tekoče vode z nizkimi hitrostmi, visokim deležem raztopljenega kisika, z malo suspendiranimi delci	>16	>16
Valovanje morja	>16	>16
Normalna tla	>16	>16
Onesnaženo ozračje	>16	>16

Pomembna je izbira filtrske plasti med brežino in postavljenimi košarami, da se prepreči spiranje zemljine skozi košare. Za filtre se uporabi razne geotkanine, prod ali pesek. Ustrežnejša je kombinacija proda in peska, ker koreninski sistem geotkanino lahko poškoduje.



Slika 17: Porasel gabion (Avtor: Zakotnik)

Pri izvedbi zavarovanja je treba poskrbeti za ustrezno sajenje in izbiro vegetacije, najpogosteje se izbirajo vrbovi potaknjenci. Poznamo dva načina sajenja:

1. med posamezne košare,
2. skozi košare.

Prva tehnika je enostavnejša, videz sonaravnosti brežine je dosežen hitreje, prav tako se ustvarijo razmere za obnovo obvodnega ekosistema. Na kvadratni meter je treba posaditi 6 vej potaknjencev. Pri drugi tehniki potaknjence sadimo skozi žičnato mrežo košare. Na košaro potrebujemo 3 veje potaknjencev.

Ker imajo gabioni omejeno življenjsko dobo, je treba zagotoviti dolgoročno stabilnost z ustrezno zasaditvijo. Porasli gabioni omogočajo habitat pticam in obvodnim žuželkam, ki so hrana ribam in pticam. Poraščene košare ob robu vodotoka nudijo senco vodnim organizmom, drobne frakcije polnila v košarah, ki stojijo v vodi, pa omogočajo ribjim mladim večjo verjetnost preživetja in razvoja.

Porasle gabione se uporablja v kombinaciji z utrditvijo obvodne brežine nad gabioni z dopolnilno saditvijo lesnate vegetacije, tako da se prepreči površinska erozija.

Porasli gabioni imajo sonaraven videz in da so v vidni zaznavi manj moteči kot skalomet/kamnet (Gray in Sotir, 1996). Vegetacija, ki je posajena med ali v košarice, s svojim koreninskim sistemom nudi stabilnost brežine tudi potem, ko žica okoli košar gabionov popusti. Za napolnitev košar se lahko uporabi manjše kamne, kot bi se uporabili za utrditev z okroglicami ali s skalometom/kamnetom. Za polnjenje se uporablja krajevno dostopen material. Zavarovanje z gabioni je primerno za slabše nosilna tla, saj v primerjavi s skalometom/kamnetom za isto debelino košar porabimo samo $\frac{1}{3}$ materiala. Ne zavzemajo veliko površine, ker se jih lahko postavi skoraj navpično. Za gradnjo ni potrebna težka gradbena mehanizacija, več je fizičnega dela. S postavitvijo se je mogoče na enostaven način prilagoditi naklonu in obliki brežine. Sicer pa je priporočljivo upoštevati smernice (Gray in Sotir, 1996; McCullah, 2004), ki obsegajo: odstranitev odpadlega materiala s temeljev, namestitve filtrne plasti, pravilno sestavljanje žičnatih košar, polnitev košar, podtikanje potaknjencev (do globine vadozne cone), čvrsta pritrditev mreže v vogalih, sestavljanje košar.

Gabioni niso primerni za stabilizacijo brežin vodotokov, v katerih je veliko sedimentov ali večjih plavajočih delcev, ki bi lahko obrusili žice košar. Za stabilizacijo morskih brežin so pogojno primerne samo košare iz plastificiranih žičnatih mrež, saj je pocinkana mreža izpostavljena koroziji, ki jo povzročajo morska voda in močni valovi.

Stroški postavitve so v primerjavi z ostalimi stabilizacijskimi ukrepi visoki.

Če so gabioni pravilno postavljeni in vzdrževani, so prožni in trpežni. Ureditve je treba redno spremljati (npr. pojav in razvoj korozije, pretrgi žic v košarah, spodkopavanje ali odmiki od brežine). Poškodovana mesta je treba sproti popraviti, preveč poškodovano košaro znotraj celotne zgradbe pa je mogoče odstraniti in nadomestiti z novo.

3.2.7 Cevasti gabioni iz geotekstila in grmičevja

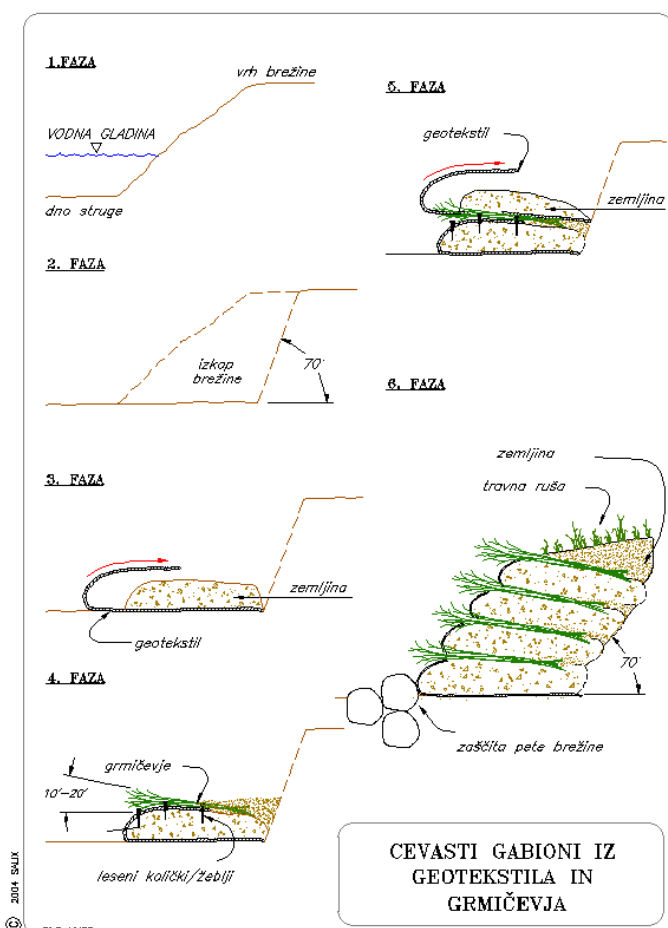
Cevasti gabioni iz geotekstila in grmičevja so kombinacija dveh stabilizacijskih metod – mehanske zaščite zemljine z geotekstilno mrežo in živimi odrezanimi vejami, ki zagotavlja strižno in mehansko stabilnost brežine. Cevasti gabioni se uporabijo za zaščito in stabilizacijo brežine, žive ščetke pa nudijo zaščito tako mreži gabiona kakor tudi dolgoročno stabilnost brežine. Tehnika je primerna za stabilizacijo strmih brežin oz. brežin, kjer druge metode zaradi pomanjkanja razpoložljivega prostora niso izvedljive. Za slabo nosilna tla vrsta zavarovanja ni ustrezna.



Slika 18: Slika cevastih gabionov iz geotekstila in grmičevja (Vir: NCHRP, 2005)

Zavarovanje se gradi od Pete brežine navzgor proti vrhu. Potreben je izkop brežine ustrezne dolžine in naklona do 70 °. Globina izkopa sega do dna struge. Na dnu zavarovanja je treba narediti stabilen temelj, možna je tudi izvedba zavarovanja v obliki nadgradnje skalometa/kamnometa (ta omogočata boljšo stabilnost Pete brežine). Geotekstilna mreža služi za armiranje zemljine. Po namestitvi spodnjega dela prvega gabiona na temelje se mreža napolni z zemljo, zavije ter pritrdi (z lesenimi količki ali daljšimi žebliji), tako da ima obliko sendvič konstrukcije. Na vrh polnila se položi odrezane žive veje (vrba, jelša) ali sadike s koreninami. Nad veje prvega gabiona se nato položi naslednja cevasta plast geotekstilne mreže in vej ter ponavlja postopek do načrtovane višine ureditve. Na vrhu stabilizirane brežine se plast vstavljenih vej zasuje z zemljo, na kateri se opravi setev travne mešanice ali položi prej pripravljeno travno rušo.

Gabion se napolni v višini od 30 do 45 cm. Višina polnila je manjša, če so strižne sile ali hitrosti vodnega toka večje ali če je gabion pod gladino vode. Veje dolžine približno 1,50 m in premera med 2 in 5 cm se polagajo horizontalno oz. pod kotom 10 do 20 ° (NCHRP, 2005). Konstrukcija zavarovanja se načrtuje do višine brežine, na kateri strižne napetosti ne presegajo velikosti okoli 95 N/m² (Vrhovšek in Vovk Korže, 2009). Na spodnji sliki so prikazane faze gradnje.



Slika 19: Prikaz gradnje cevastih gabionov iz geotekstila in grmičevja (Vir: NCHRP, 2005)

Pri načrtovanju se upoštevajo naklon in višina brežine, strižne sile in hitrosti, ki delujejo na brežino. Za samo izvedbo je potrebna pozornost pri izbiri in pritrditvi geotekstila, določitvi naklona polaganja in dolžini gabionov ter pripravi vegetacijskega gradiva. Cevaste gabione se gradi iz mrež oz. rešetkastih pletiv, ki so sestavljena iz naravnih vlaken (kokos, juta), sintetičnih materialov (polimeri) ali pocinkanih železnih žic. Mreža gabiona mora biti gosta, tako da je onemogočeno izpiranje polnila. Izbira materiala je odvisna od tega, kakšno trajnost in odpornost materiala se potrebuje. Mreže iz naravnih vlaken so manj odporne na abrazijo, vendar pa zadržujejo več vlage kot iz žice ali iz polimerov. Pri polimernih mrežah je potrebna zadostna velikost mreže, ki vstavljenim živim vejam omogoča razvoj koreninskega sistema.

Veje se polaga v rastru, od 25 do 45 vej na tekoči meter. Cevaste gabione se izvaja v naklonih od 1:2 do 2:1 ali v terasasti obliki (Vrhovšek in Vovk Korže, 2009).

Stabilizacijska struktura iz cevastih gabionov mora imeti ustrezno odpornost na drsenje in prevračanje, vzgon zaradi teže konstrukcije ni problematičen.

Cevasti gabioni iz geotekstila in grmičevja takoj po gradnji kljubujejo strižnim silam velikosti 230 N/m^2 , po dveh rastnih sezonah pa strižna odpornost naraste na 650 N/m^2 (Vrhovšek in Vovk Korže, 2009). Grmovni površinski pokrov ugodno vpliva na odvod padavinske vode in tako preprečuje površinsko erozijo. Skoraj horizontalno uravnan koreninski sistem omogoča uravnavanje podzemne vode (Gray in Sotir, 1996; Ghiassian in sod., 1997) in dodatno ščiti brežino pred porušitvijo. Vegetacija, ki se razraste nad vodno gladino, ustvarja dobre življenjske razmere (senca, temperatura vode, skrivališče) za obvodne živali in ribje populacije, saj omogoča senco in regulira temperaturo vode, nudi pogoje za naselitev žuželk, s katerimi se prehranjujejo ribe, in daje pticam kritje, zaščito pred plenilci. Cevasti gabioni iz geotekstila po uspešni obraslosti z grmovnicami postanejo sestavni del obvodnega krajinskega prostora.

Cevaste gabione se gradi v času zunaj vegetacijskega obdobja (zgodaj pomladi, pozno jeseni ali pozimi), v času nizkega vodostaja (možnost dostopa z gradbeno mehanizacijo v strugo vodotoka). Izvedba zavarovanja je zaradi združevanja dveh stabilizacijskih tehnik ali nadgradnje že obstoječih zgradb precej zahtevna, prav tako pa je povezana z visokimi stroški. Življenjska doba gabionov in odpornost tako urejene brežine sta z dopolnilno zasaditvijo večji (vegetacija ščiti geotekstil pred delovanjem strižnih sil in UV žarki). Posebno vzdrževanje ni potrebno, priporočljivo pa je redno letno pregledovanje (morebitne poškodbe geotekstila, stanje zgradbe zaradi erozijskega delovanja in bočnih pritiskov na brežino) ter ustrezno ukrepanje.

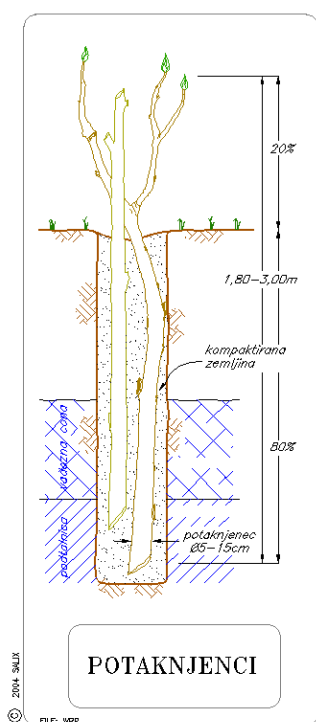
3.2.8 Potaknjenci

Potaknjenci predstavljajo zavarovanje, ki omogoča hitro vzpostavitev obrežne vegetacije. Služi kot živa pregrada za stabilizacijo brežine, uporabna zlasti v sušnih regijah, kjer so vodostaji talne vode zelo globoko in je nabor možnih inženirsko bioloških metod močno omejen. Zasaditev upočasni hitrost vodotoka ob brežini, s povečano hrapavostjo struge se zmanjša obseg pobočne erozije (višje vrednosti Manningovega koeficienta) in omogoča odlaganje sedimentov. Vrbovi potaknjenci so primerni za vodotoke, v katerih je hitrost vode 2 m/s (NCHRP, 2005).



Slika 20: Vrbovi potaknjenci (Vir: NCHRP, 2005)

Najpogosteje se uporabljajo potaknjenci premera 5 do 15 cm in dolžine 1,8 do 3,0 m. Debelejši potaknjenci rastejo počasneje, so pa primerni za mehansko zaščito brežine v začetnem obdobju, ko se tanjši potaknjenci še ne ukoreninijo. Lahko se uporablja tudi več potaknjencev na eno luknjo. Navpični potaknjenci se uporabljajo za zaščito brežin v naklonih do 1:2.



Slika 21: Namestitvev navpičnih potaknjencev (Vir: NCHRP, 2005)

Zasaditev ima veliko sposobnost samoobnove tudi tam, kjer so vzdolž vodotokov pašne kmetijske površine ali življenjski prostor obvodnih živali (npr. bober). Uspešnost zavarovanja se kaže v dobrem ukoreninjenju in ozelenitvi potaknjencev, zato je treba v začetnem obdobju rasti preprečiti dostop živalim, ki bi lahko poškodovale ali uničile zasajene potaknjence. Navpični potaknjenci so zaradi globine sadnje uporabni v neprodnatih vodotokih, tudi na podlagah z daljšim obdobjem zmrznjenih tal, prav tako pa so odporni zoper premikanje v

primeru erozijskega delovanja. Za zagotavljanje stabilizacije brežine je treba izbrati ustrezno rastlinsko vrsto potaknjencev (prednostno vrba, jelša, topol ...) in predvsem njeno razporeditev (posamično ali v skupkih).

Potaknjence se sadi v času nevegetativnega obdobja (pozna jesen, pozimi, zgodnja pomlad), paziti pa je treba, da se med posekom in ponovno saditvijo ne izsušijo. Prav tako se potaknjencev ne sadi v obdobju pričakovanih visokih vod, ker le-te lahko povzročijo večje premikanje ali celo puljenje svežih potaknjencev. Potaknjence se potakne v brežino – nad njeno peto – tako, da 80 % njihove dolžine predstavlja podzemni, 20 % pa nadzemni del. Potaknjenci morajo biti potaknjeni tako globoko, da v celotni vegetacijski sezoni, tudi v sušnih predelih ali ob nizkih vodostajih, spodnji konci segajo do podzemne vodne gladine. Pri saditvi je treba poskrbeti za ustrezen stik med zemljino in potaknjencem, da ne pride do izsušitve. V izkopano luknjo je treba nasuti zemljo, ki se jo po potaknitvi ustrezno utrdi (stisne-kompaktira), da se prepreči oblikovanje zračnih žepov (nevarnost izsušitve potaknjenca) (NCHRP, 2005). Stabilizacija brežine se doseže sčasoma, potem ko se potaknjenci dobro zakoreninijo.

Vrbovi potaknjenci so pionirske vrste na obrežjih, zato kmalu po stabilizaciji brežine zagotavljajo ugoden življenjski habitat za obvodne organizme. Izboljšujejo kakovost vode, stabilnost brežine, prav tako pa prispevajo k vzpostavitvi površinskega pokrova in prilagoditvi obvodnega prostora krajini.

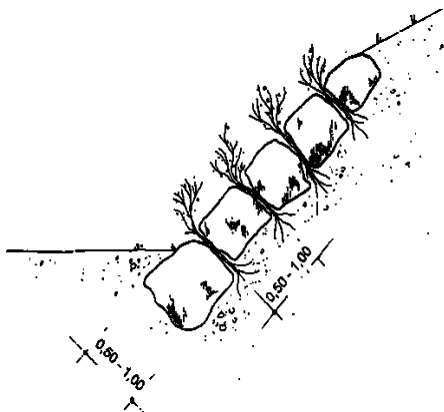
Ureditve z navpičnimi potaknjenci so uporabne za ozelenitev brežin za gabioni ali tudi za zapolnitev rež v skalometu/kamnometu. Uporabljajo se za zaščito pred površinsko erozijo, a mora biti peta brežine utrjena s skalometom/kamnometom. Zasaditev in vzdrževanje navpičnih potaknjencev sta stroškovno ugodni. Zagotavljajo dolgotrajno zaščito brežine. Izbrane vrste potaknjencev delujejo kot pionirske vrste in omogočajo razvoj življenjskega habitata za obvodne organizme.

Izvedba saditve navpičnih potaknjencev je enostavna, saj za sajenje ne potrebujemo veliko delovne sile in gradbene mehanizacije. Stroške predstavljajo potaknjenci, njihova priprava, nakladanje, prevoz in razkladanje ter zasaditev. Vrednost se spreminja glede na vrsto zemljine, na vrsto brežine (izbor gradbene mehanizacije), količine in transport izkopane zemljine in humusa za zasaditev.

V začetnem obdobju je treba poskrbeti za začasno zaščito potaknjencev in zadostno vlago, spremljati morebiten pojav gnilobe na potaknjencih in stik med njimi ter zemljino, da ne nastajajo zračni žepi.

3.2.9 Skalometi/kamnometi s potaknjenci

Skalometi oz. kamnometi so vzdolžne zgradbe, ki se jih uporablja za zavarovanje brežin v krivinah, ogroženih zaradi bočnega erodiranja ali spodjedanja. Da bi dobila brežina bolj sonaraven izgled in izboljšala ekološke razmere, se skalomete zasadi z lesnatimi potaknjenci. Le-te se potakne v žepe med skalami, ki se jih predhodno zapolni s humusom.



Slika 22: Skalomet/kamnomet s potaknjenci (Vir: Progetto F.R.A.N.E., 2005)

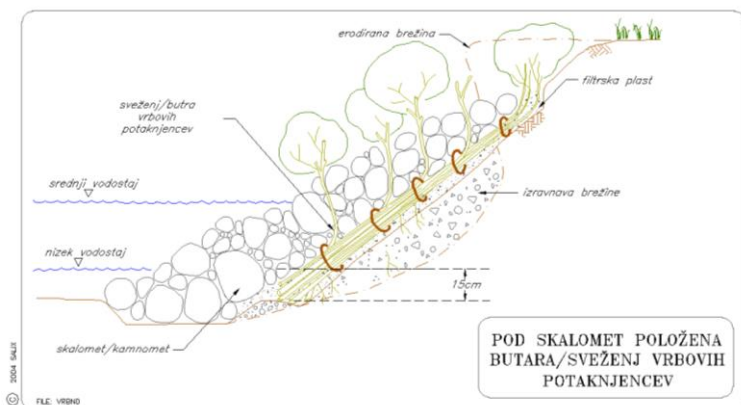
Koreninski sistem potaknjencev v režah še dodatno stabilizira samo brežino - v nasprotju z vegetacijo na vrhu brežine. Z izgradnjo skalometa se zmanjša strižne sile na brežino, s saditvijo potaknjencev pa poveča geotehnično stabilnost (McCullah, 2004). Vegetacija nudi skalometu tudi zaščito ob zmrzali in ob visokih vodah, ki bi ga lahko razrahljale. Nadzemni deli potaknjencev z razvojem grma in oblikovanjem sklenjenega rastlinskega pokrova nudijo življenjski prostor obvodnim živalim (pticam in žuželkam). Krošnje omogočajo senčno območje nad vodotokom, kjer se lahko zadržujejo vodni nevretenčarji.

Skalomete se uporablja za naklone brežin v razmerju do 2:3. Pri gradnji je potrebno peto skalometa graditi pod nivojem dna struge vodotoka. Pri poraslih skalometih se uporabljata dva načina oblikovanja, in sicer:

1. zaščita pete brežine,
2. zaščita celotne brežine.

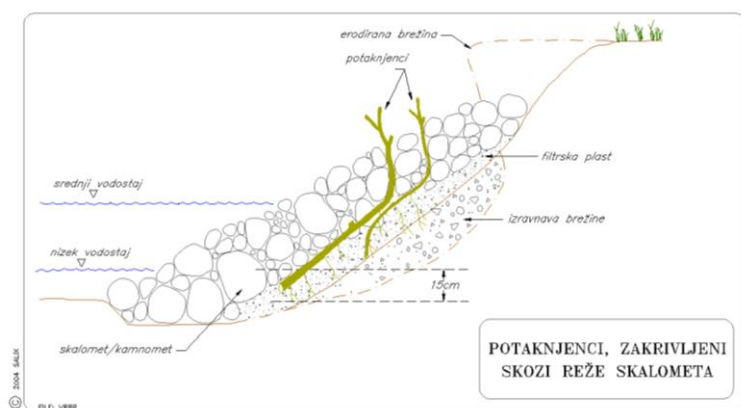
Pri prvem načinu se za stabilnost brežine uporabljajo razne inženirsko biološke metode stabilizacije, pri drugem pa se potaknjence potakne v reže skalometa. Pri gradnji je potrebno med skalometom in podlago urediti ustrezno filtrno plast, ki preprečuje spiranje zemljine z brežine. Za filtrno plast se uporablja geotkanina ali pesek. Slednji je najprimernejši, kadar se v žepe v skalometu potikajo potaknjenci. Za izvedbo poraslih skalometov se uporabljajo različni načini:

1. pod skalomet položena butara/sveženj vrbovih potaknjencev,
2. potaknjenci, zakrivljeni skozi reže,
3. žive ščetke in potaknjenci.



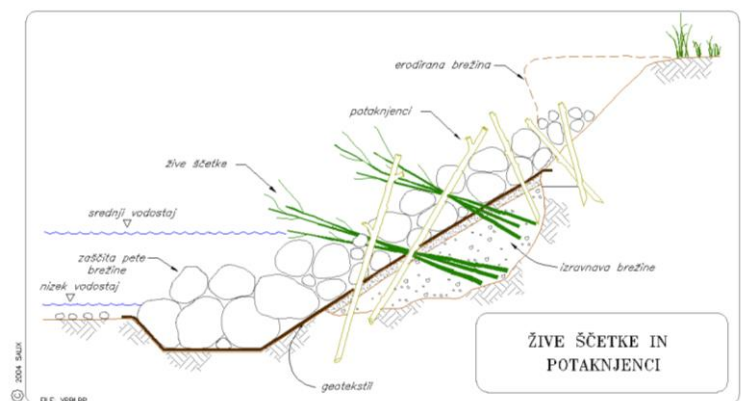
Slika 23: Pod skalomet položena butara iz vrbovih potaknjencev (Vir: NCHRP, 2005)

Če se uporabljajo vrbovi svežnji, se izkoplje horizontalne kanale, v katere se položi svežnje. Ti segajo s spodnjim koncem približno 15 cm pod vodno gladino. Na svežnje se postavijo skale, ki tvorijo skalomet. Zgornji konec svežnja mora biti zakriviljen navzgor in na koncu utrjen.



Slika 24: Potaknjenci, zakriviljeni skozi reže (Vir: NCHRP, 2005)

Pri potaknjencih, zakriviljenih skozi reže, se mora najprej zgraditi zaščita pete brežine s čim manjšim številom rež. Sledi prva plast kamenja, nato pa se začnejo polagati na filtrsko plast potaknjenci. Potaknjence se zasuje in zakrivi navzgor tako, da je vsaj 30 cm potaknjenca nad površjem.



Slika 25: Žive ščetke in potaknjenci (Vir: NCHRP, 2005)

Pri živih ščetkah se uporablja filtrske tkanine. Najprej se naredi zaščita pete brežine, ki se nadaljuje še nad običajno vodno gladino. Na plast kamenja se pod kotom 45 ° podtakne žive ščetke in potaknjence ter zasuje s kamenjem.

Za potikanje se uporabljajo potaknjenci vrb, jelš, drena ..., njihova dolžina pa mora omogočiti, da dosežejo vadozno cono pod skalometom. Ustrezno gradivo za filtrsko plast se razporedi pod skalomet/kamnomet.

Pri gradnji se lahko uporablja lokalno dostopen material primerne velikosti. Od velikosti skal, ki se jih uporabi v skalometu, je odvisno zmanjšanje hitrosti in strižnih sil. Dopolnitev ureditev

skalometov z zasaditvijo se izvaja z različnimi inženirsko biološkimi metodami (navpični potaknjenci, žive ščetke, zaščita s kosmatim lesom, geotekstilom ...). Zaradi poraslosti skalometa oz. razraslega koreninskega sistema potaknjencev se ohrani geotehnična stabilnost brežine tudi v primeru razrahljanja ali celo delne porušitve skalometa. Študije kažejo, da ob visokih vodah (poplavad) poraščeni skalometi utrpijo manjšo škodo kot neporaščeni (NCHRP, 2005). Vegetacija v skalometu poleg stabilizacije brežine zmanjša tudi vlažnost.

Vrsta zavarovanja ni primerna za vodotoke z ozkim dnom struge, saj razrasla vegetacija lahko zmanjša pretočnost. Zaradi višjih stroškov ni primerna tudi na odsekih vodotoka, kjer v bližini potrebne sanacije ni mogoče dobiti zadostne količine dovolj kakovostnega materiala.

Gradnja skalometa s potaknjenci je srednje zahtevna. Pri potikanju potaknjencev je potrebno upoštevati vegetativno obdobje in letni čas. Stroški zavarovanja so odvisni od dostopnosti lokalnega materiala oz. prevoza le-tega. Potrebno je letno spremljanje sanirane brežine, še posebej stičnih delov med saniranim odsekom in preostalo brežino. Vegetacijo je treba vzdrževati, saj pregosta razraslost živalim onemogoči dostop do vodotoka (NCHRP, 2005). Ob visokih vodah so pregledi nujni.

Z izvedbo je treba preprečiti spodkopavanje in rušenje skalometa (ustrezna velikost kamnov oz. skal, medsebojna zaklinitve skal), izpiranje zemljine v brežini (vzpostavitev ustrezne filtrske plasti), zasaditev pa opraviti v vegetacijskem obdobju (oskrba z vodo v sušnem obdobju).

3.2.10 Lesene kašte

Leseno kašta je vzdolžna zgradba, ki se uporablja za stabilizacijo strmih brežin. Uvršča se med učinkovite tehnike za zaščito brežin pred erozijo. Za kašto se uporablja rešetkasto sestavljena debela in kamne kot polnilo. Tehnika je stara, v slovenskem prostoru je prisotna že 150 let (idrijske klavže), vpisana pa je tudi v register enot žive kulturne dediščine s sinonimom kranjska stena (poimenovana po deželi Kranjski, za katero je bila značilna tovrstna ureditev) (Ministrstvo za kulturo, 2013).

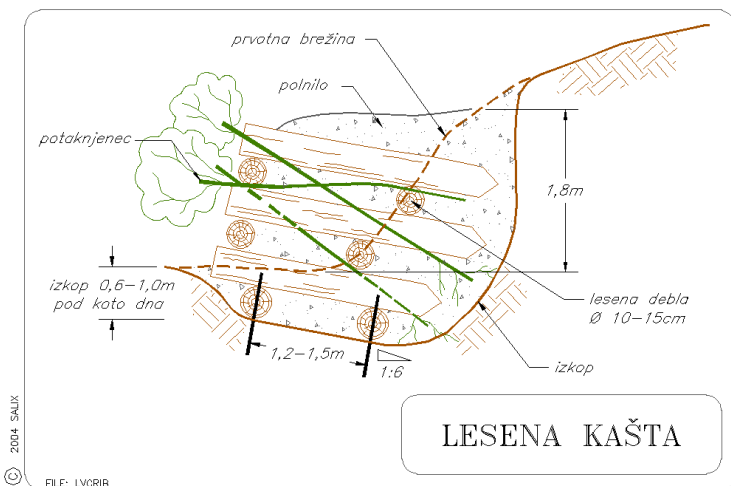
Z inženirsko biološkim pristopom je tehnika nadgrajena tako, da se polnilo s kamni kombinira s plastmi utrjene zemljine in potaknjenci. Z lesenimi potaknjenci se brežina po uspešnem ukoreninjenju še dodatno stabilizira. Vegetacijski pokrov prispeva k večji hrapavosti brežine in vpetosti kašte v obvodni krajinski prostor, prav tako pa dopolnjuje ekosistem in omogoča življenjski prostor obvodnim organizmom.



Slika 26: Porasla lesena kašta (kranjska stena) (Avtor: Zakotnik)

Za gradbo je treba najprej ustrezno urediti tla za temeljenje, tako da bodo zanesljivo nosila težo kašte. Lesene kašte morajo imeti ustrezno notranjo in zunanjo stabilnost. Za zunanjo stabilnost je pomembno, da konstrukcija nudi ustrezen odpor na sile, ki povzročajo drsenje, prevračanje in spodkopavanje. Za notranjo stabilnost pa mora konstrukcija zagotavljati odpornost na strig, momentne in tlačne sile.

Za konstrukcijo se najpogosteje uporabljajo srednje debeli leseni hlodi. Lesena debela, s premerom od 10 do 15 cm, se škatlasto zabijejo izmenično eno na drugo, tako da ima konstrukcija videz »lesene kletke«. Vmesni prostor med legami se pod vodno gladino zapolni z večjimi kamni, nad gladino pa s peskom/prodom/kamnom lomljencem, zemljino in potaknjenci. Lesene kašte ne presegajo 1,8 m višine, njihova širina pa je od 1,2 do 1,5 m. Potaknjence, najprimernejši so vrbovi, se potakne med polnjenjem kašt s polnilom in zemljino. Potaknjence, debeline od 1 do 5 cm odrežemo tako dolge, da spodnji konec doseže brežino, zgornji konec pa sega iz lesene kašte. Prikaz lesene kašte je na spodnji sliki.



Slika 27: Skica lesene kašte (Vir: NCHRP, 2005)

Po izgradnji kašt se zmanjšajo hitrosti in strižne sile, tako da varujejo tako peto brežine kot samo brežino. Z izgradnjo se poveča hrapavost brežine, vegetacija pa nudi ugoden življenjski prostor in omogoča sedimentacijo. Kašte imajo dolgo življenjsko dobo, in sicer med 20 do 30 let (Vrhovšek in Vovk Korže, 2009). Ob dopolnitvi ali spremembi načina stabilizacije je kašto mogoče enostavno podaljšati ali razgraditi in material uporabiti v druge namene.



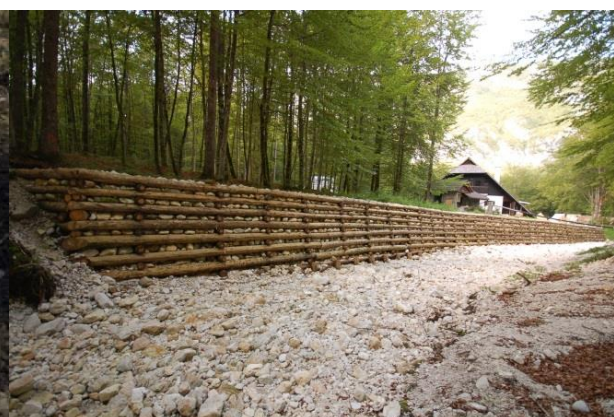
Slika 28: Lesena kašta s potaknjenci med gradnjo (Vir: Progetto F.R.A.N.E., 2005)



Slika 29: Gradnja lesene kašte (Avtor: Zakotnik)



Slika 30: Gradnja lesene kašte (Avtor: Alen Muminovič)



Slika 31: Izgled lesene kašte (Avtor: Aleš Zdešar)

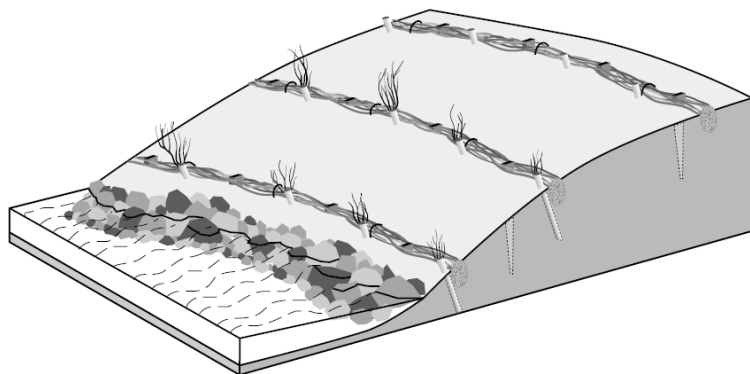
Z izgradnjo lesenih kašt se ohranjata naklon in izoblikovanost brežin, prav tako pa, ker zanje ni potrebno veliko prostora, niso potrebni obsežnejši posegi v obvodni prostor. Pri ureditvi se uporablja lokalno dostopno naravno gradivo. Gradnja lesenih kašt je v primerjavi z drugimi inženirsko biološkimi tehnikami stabilizacije načrtovalsko in izvedbeno zahtevnejša (potrebno fizično in strojno delo) ter dražja. Za pravilno temeljenje in projektiranje je treba izdelati geotehnično analizo. Pri gradnji je treba uporabljati ustrezno vrsto in kakovost lesa (odpornost na mehanske poškodbe in gnitje), za sestavljanje rešetkaste konstrukcije so potrebni znanje in izkušnje (pravilna sestavljenost rešetkaste konstrukcije, da ne pride do

turbulenc in poškodb kašte), izvedba polnjenja (velikost kamnov in zadostna količina polnila) pa mora preprečiti izpiranje zemljine iz kašte. Izvedene ureditve je treba redno spremljati (potencialna erozijska mesta, spodkopavanje delov brežin, poškodovanost ali nagnitost debel).

3.2.11 Žive fašine

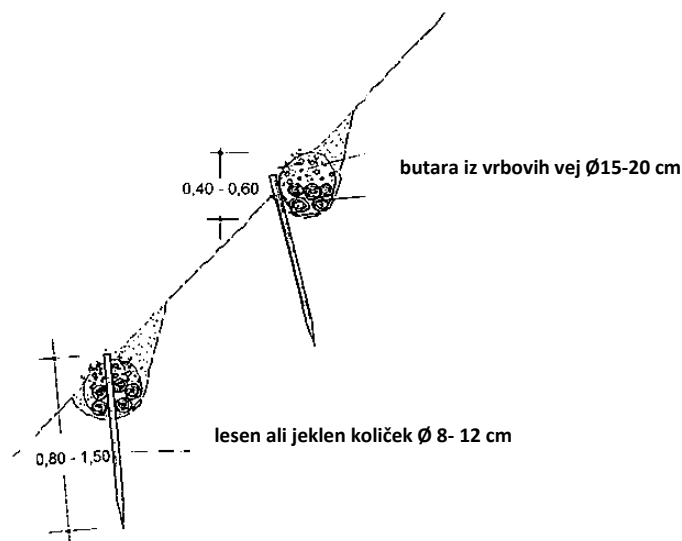
Žive fašine so v snope povezane veje. Najpogosteje so iz vrbovih vej, ki s koreninskim sistemom utrdijo brežino. Uporabljajo se za utrditev po celi brežini od nivoja vodne gladine do vrha brežine (Vrhovšek in Vovk Korže, 2009). Preprečujejo spiranje prsti na brežini, saj delujejo kot nekakšna pregrada. Z več nizi fašin se zmanjša tudi naklon brežine. Če je fašina nameščena pod kotom, se usmerja nadzorovano odvajanje vode. Z gradnjo se izboljša razmere za naselitev avtohtonih rastlinskih vrst.

Fašine zagotavljajo stabilnost brežine ob hkratnem preprečevanju erozije, zmanjšajo pa tudi hidravlične sile. Z vgradnjo fašin se na brežini ustvarijo terase, na katerih se odlagajo rečne usedline in organsko gradivo, kar spodbuja rast vegetacije. S hitrejšim razvojem vegetacije se zagotavljajo ustrezne življenjske razmere za naselitev obvodnih pionirskih in drugih rastlinskih vrst, zastopanih v prisotni rastlinski združbi, omogoča pa se tudi naselitev obvodnih sesalcev in ptic. Žive fašine zmanjšujejo obseg površinske odvodnje in povečujejo infiltracijo vode v podtalnico.



Slika 32: Skica živih fašin (Vir: FISRWG, 1998: str. 583)

Načrtovanje živih fašin je odvisno od lokacije in naklona brežine, ki se jo stabilizira. Uporablja se tudi za sanacije manjših zdrsov, ne pa na pobočjih, ki drsijo, ali pobočjih, ki so izpostavljena pogostim visokim vodam. Izbor mesta ureditve fašine je odvisen od načrtovanih ciljev: preusmeritev odtoka padavinske vode, povečano odlaganje sedimentov ali zaščita brežine pred spodjedanjem in vodno erozijo. V prvem primeru se fašine namesti v zgornjem delu, v drugem na sredini, v zadnjem pa na peti brežine. Fašine v premem poteku struge nameščamo pravokotno, v zavojih pa pod kotom 45 do 60 °.



Slika 33: Prikaz namestitve živih fašin (Vir: Progetto F.R.A.N.E., 2005)

Z namestitvijo fašin se po razrasti vegetacije poveča odpornost na strižne sile. Odpornost se še dodatno poveča, če se na peti brežine zgradi kamnita zaščita. Žive fašine so uporabna zavarovanja na odsekih vodotokov, kjer so vrednosti strižne sile od 60 do 100 N/m² (različni avtorji poročajo o različnih silah) in hitrosti vodnega toka od 1 do 3 m/s (Fischenich, 2001; Schiechl in Stern, 1996).

Za fašine se najpogosteje uporabljajo vrbove veje. Priporočljivo je, da so veje različne starosti in debeline. Veje, dolžine približno 1,3 m in premera do 4 cm, se polaga v isti smeri do končne dolžine fašine. Fašine so dolge med 2 in 10 m. Poveže se jih v snop/butaro premera 15 do 20 cm z vrvjo iz naravnih materialov (lan, konoplja, juta, kokos). Razdalja med prevezi je 30 do 90 cm (pri večjih premerih je razdalja krajša) (Vrhovšek in Vovk Korže, 2009). Fašine se polagajo vzporedno z vodno gladino ali pa pod kotom 45 °. Gradnja fašin poteka od vrha proti peti brežine. Razmik med posameznimi fašinami je odvisen od naklona, vrste tal, možnosti erozije. Razdalje so zapisane v spodnji tabeli.

Preglednica 4: Razdalja med vzporednimi fašinami (Vrhovšek in Vovk Korže, 2009)

Naklon brežine	Razdalja na kohezivnih tleh [m]	Razdalja na nekohezivnih tleh [m]
1:1	1,0	/
1:1 - 2:1	1,0 - 1,3	/
2:1 - 4:1	1,3 - 1,6	1,0 - 1,3
3:1 - 4:1	1,6 - 2,0	1,3 - 1,6
4:1 in položneje	2,0 - 2,6	1,6 - 2,3

Snop se položi na brežino v jarek globine 30 do 45 cm. Pri nekohezivnih tleh je treba jarek obložiti z geotekstilom. Če se fašino položi v bližini vode, jo je treba pred spodjedanjem

zaščititi s podlago iz kamena. Žive fašine se položijo v izkopan jarek tako, da gleda manj kot 10 cm fašine iz zemlje. Snop se podpre z lesenimi količki. Med fašino se potisne potaknjence dolžine 80 do 120 cm na razdalji 1 m, ki se jih po zasutju fašine obreže na dolžino okoli 10 cm. Zelo pomembno je pravilno zasipanje snopa fašine s prstjo, tako da se omogoča posedanje fašine.

Fašine se namešča v nevegetacijskem delu leta (pozna jesen, zima, zgodnja pomlad). Pri načrtovanju je pomembno pravilno izračunati strižne sile ter predvideti ustrezno zavarovanje jarka, v katerem je najnižje nameščena fašina (najbližje vodnemu toku). Gradnja živih fašin je zaradi priprave ustreznih snopov in količkov srednje zahtevna z veliko fizičnega dela, pri stroških pa je treba upoštevati tudi pripravo vej, povezovanje snopov, material za povezovanje in pritrditev ter transport na gradbišče. Gradnja fašin je ekonomična, prilagodljiva glede na izoblikovanost terena, potrebuje malo vzdrževanja. Odpornost brežine se izboljša po 2-3 letih. V prvem letu sta priporočena dva pregleda, nato spremljanje enkrat letno. Stabilizirane brežine je treba po vsaki višji poplavni vodi pregledati.

3.2.12 Žive ščetke

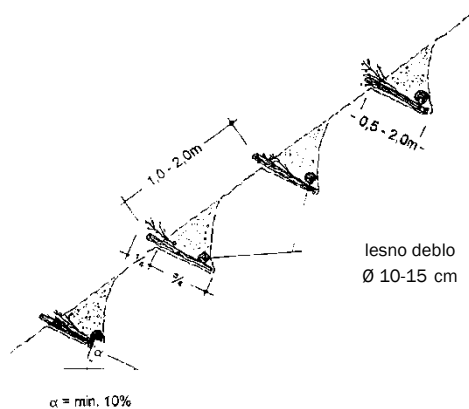
Žive ščetke so inženirsko biološka metoda stabilizacije, kjer so izmenično, po plasteh, v brežino položeni lesnati potaknjenci, ki so zasuti z zemljino. Nameščene so vodoravno in pravokotno na pobočje. Žive ščetke »armirajo« brežino in tako preprečujejo drsenje brežine ter površinsko erozijo.

Primerne so za naklone brežin do 2:3 (NCHRP, 2005). in za vodotoke s hitrostjo vodnega toka do 3,7 m/s. Strižna odpornost, na katero so odporne žive ščetke, je od 19 do 300 N/m² (vrednost je odvisna od razraščенosti lesnate vegetacije) (Fischenich, 2001). Schiechtl in Stern (1996) poročata o odpornosti živih ščetk na strižno napetost do 140 N/m². Če je naklon večji, se žive ščetke uporabijo v kombinaciji z geotekstilnimi (kokos, juta), žičnatimi ali PVC mrežami.



Slika 34: Zaščita brežine z živimi ščetkami (Avtor: Zakotnik)

Za zavarovanje se najprej zgradi zaščito pete brežine, največkrat se izvede skalomet/kamnomet. Nad zaščito pete se izkopije polico v brežino pod naklonom 10 %. Nanjo se položi veje tako, da so te med seboj nekoliko prekrižane in na koncih »obtežene« z lesenim deblom premera 10 do 15 cm. Na tekoči meter se priporoča vgradnja okoli 20 vej (NCHRP, 2005). Veje morajo biti pripravljene (namočene vsaj 24 ur pred vgradnjo). Najpogosteje se uporablja olesenele različno stare vrbove veje dolžine 0,5 do 2,0 m in različnega premera (vsaj 2 cm). Veje v živih ščetkah morajo imeti zadostno natezno trdnost. Z zemljino so zasute približno do $\frac{3}{4}$ svoje dolžine. Na ščetke, debeline 8 do 20 cm, se nasuje 50 do 120 cm zemljine, ki se jo utrjuje po plasteh, debelih 20 do 45 cm. Plasti zemljine sledi nova živa ščetka, ki se jo ponovno zasuje z zemljino. Debelino plasti med posameznimi ščetkami prilagodimo višini in naklonu brežine. Pri daljših brežinah je razmik med ščetkami na spodnjem robu manjši, proti vrhu brežine pa se povečuje. Prikaz vgradnje je na spodnji sliki.



Slika 35: Prikaz vgradnje živih ščetk (Vir: Progetto F.R.A.N.E., 2005)

Za zavarovanje je pomembno, da se veje v čim večjem obsegu (vsaj 70 %) uspešno ukoreninijo. Preostale neukoreninjene veje počasi zgnijejo, vendar ni nevarnosti za

nestabilnost brežine. Uspešnost ureditve je povezana z ustrezno izbiro olesenelih vej (debelina vej) in zadostno gostoto vej.

Žive ščetke zagotovijo takojšno stabilnost in zaščito brežine. Razvit in razrašččen koreninski sistem ščetk zagotavlja sekundarno zaščito brežine v primeru strižne porušitve. Ščetke na brežini horizontalno odvajajo površinsko vodo in tako varujejo brežino pred površinsko erozijo (ščetke predvsem preprečujejo površinsko koncentracijo vodnih tokov in na ta način razvoj žlebične ali jarkovne erozije). Žive ščetke ne potrebujejo namakanja. Ščetke ob vodni gladini omogočajo življenjski habitat ribam v vodotoku (nižja temperatura, senca, zavetje pred plenilci, hrana) in zmanjšajo hitrost vodnega toka.

Stabilizacija z živimi ščetkami je relativno enostavna. Stroški ureditve so v primerjavi z ostalimi biološkimi tehnikami nižji, odvisni so predvsem od gostote potikanja vej in dostopnosti lokalnega gradbenega materiala. Gradnja živih ščetk poteka zunaj vegetacijskega obdobja (zgodaj pomladi, pozno jeseni ali pozimi). Delo se mora izvajati v času nizkih pretokov. Po izvedeni ureditvi je potrebno redno pregledovanje (uspešnost ukoreninjenja živih ščetk, morebitno drsenje brežine ali nastanek usadov zaradi površinske erozije), nadomestitev vej, ki se niso prijele, in po potrebi povečanje stabilnosti strukture z vgradnjo dodatnih ščetk.

3.2.13 Živi plotovi

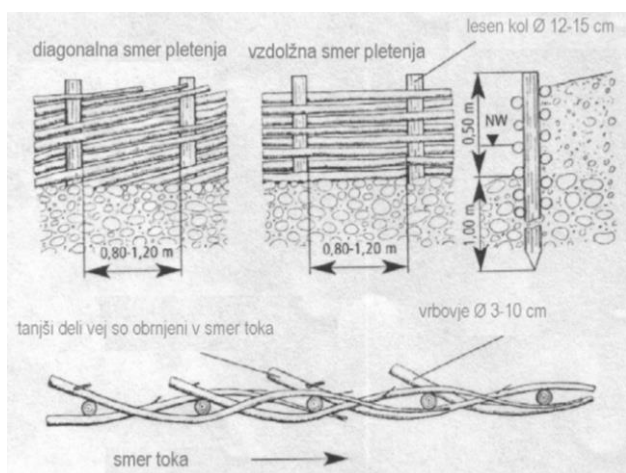
Ureditve z živimi plotovi se uporabljajo za zaščito brežin na stiku z običajno vodno gladino. Živi plot kot linijsko zavarovanje se zasnuje vodoravno (vzporedno z vodotokom) ali poševno (diagonalno na brežino). Živi plot se najpogosteje izvede kot pokončno stoječa ograja, možna pa je tudi zasnova s položitvijo na brežino, podobno kot pri vrbovem popletu. Zavarovanje je primerno za stabilizacijo brežin počasi tekočih ravninskih vodotokov (Vrhovšek in Vovk Korže, 2009).



Slika 36: Gradnja živega plota (Vir: <http://huttsatwork.files.wordpress.com/2013/02/willow-in-place-c-duncan-hutt.jpg>)

Plotovi so navpična ali na brežino položena in stabilna zgradba. Uporabljajo se za zaščito Pete brežine in/ali celotne brežine. Zagotavljajo takojšnjo zaščito brežine pred erozijo, zadržujejo tudi sedimente. Omogočajo, da se zemlja na brežini utrdi ter vzpostavi obrežna vegetacija. Višina zavarovanja ne sme presežati 50 cm.

V brežino se vgrajuje lesene količke debeline od 12 do 15 cm na medsebojni razdalji med 100 in 120 cm. Vmes na vsakih 30 cm zabijemo žive količke premera med 3 in 10 cm. V brežino zabite količke izmenično prepletamo z živim protjem. Plete se v vzdolžni ali diagonalni smeri, vedno tako, da tanjši deli protja gledajo v smeri vodnega toka. Pletenje v diagonalni smeri se uporabi, kadar ima vodotok nizek vodostaj in se tako zagotovi stalno namočenost prepletanih vej. Za ovijanje se uporablja močne in gibke veje premera od 3 do 8 cm. Za prepletanje se najpogosteje izbira veje leske in vrbe vrst (beka, mandljasta, rdeča ali črnkasta vrba). Veje je zaradi lažjega pletenja priporočljivo predhodno namočiti (Suhadolnik, 2007). Načini pletenja in postavitve so prikazani na spodnji sliki.



Slika 37: Shema živih plotov (Vir: Suhadolnik, 2007)

Iz protja in živih količkov poženejo mlada drevesa, ki s koreninami zagotovijo stabilnost in trajnost zaščite brežine, ustvarijo ugodne ekološke razmere za razvoj vodnih organizmov in organizmov, živečih na brežinah. Za ustrezno ukoreninjenje živih potaknjencev in prepletanih vej je pomembna ustrezna osončenost in namočenost brežine.

Gradnja plotov je enostavna, uporablja se naravne in lokalno dostopne materiale, kar poceni gradnjo. Z gradnjo plotov se ne posega v strugo vodotoka, širina in globina ostaneta enaki.

3.2.14 Oblaganje s travno rušo

Zatravitev je klasična tehnika ozelenitve brežin. Uporablja se kvadratne ali pravokotne, 20 x 20 do 40 x 40 cm velike in 7 do 10 cm debele kose travne ruše, ki jih polagamo po površini od spodaj navzgor, v vrstah, vodoravno ali poševno. Če je brežina preveč nagnjena, jih je

potrebno pričvrstiti z lesenimi količki. Če na voljo ni dovolj travne ruše, jo polagamo v šahovski razporeditvi ali pa v pasovih, vmesne prostore zapolnimo z živico s humusom in zatravimo s setvijo (Marušič, 1995). Semenska mešanica naj izhaja iz avtohtonih trav in zelišč. Za m² je potrebno 15 do 20 g travnih semen. Poleg tega je priporočljivo, da se na površine po setvi travne mešanice razprostre nekaj cm debela plast senenega drobirja. Ta zagotovi z bližnjih travnih površin, ki se jih za te namene pozno pokosi. V dveh do treh letih se na saniranih brežinah (tudi z občasno košnjo) vzpostavijo zadostna vezava tal, prekrivnost in vrstna pestrost, hkrati pa se zagotovi tudi zvezen prehod s površinskim pokrovom v zaledju.

3.2.15 Vodna setev z dodatkom rastne pulpe

Vodna setev z dodatkom rastne pulpe je postopek nanosa semen na površino s pomočjo posebnih strojev (cisterna z brizgalnikom). Mešanica, ki se jo nanaša na površino, je sestavljena iz vode, semen, organskih in anorganskih gnojil, alg, hidrogela, lepila, lesenega ali papirnatega mulča, dodatkov za izboljšanje tal in vode ... Mešanica je sestavljena glede na različne dejavnike okolja (vrsta tal, vlažnost, temperatura, osončenost, izpostavljenost eroziji ...).

Na površino se nabrizga 0,5 do 2 cm debel sloj rastne pulpe, na kamnitih tleh se mora postopek nanašanja večkrat ponoviti (Steinman in sod., 2009). Dela se izvaja v jesenskem in spomladanskem obdobju, ko je zagotovljena zadostna vlažnost.



Slika 38: Prikaz vodne setve z dodatkom rastne pulpe (Vir: <http://stopsilt.com/newimages/hydroseeding/RiverGlennGreenArmorSystem.JPG>)

Prednosti zatratitve z rastno pulpo so hitro zavarovanje površine pred erozijo, hitrejša in boljše kaljenje semen, hitrejša tvorba gostega koreninskega sistema, ozelenitev površin, kjer bi bil naravna ozelenitev nemogoča, preprečeno je spiranje semenja. Na tleh z malo

humusa travna ruša požene korenine globlje v tla in se s tem ustvari dolgoročnejša protierozijska zaščita. Z odmiranjem travinj se v zgornjih plasteh začne kopičiti humus, ki omogoča rast pionirske grmovne in drevesne vegetacije. Tehnika je enostavna, primerna za zelo strme naklone, težje dostopna mesta (skalni žepi, previsi, razpoke ...) in velike površine, kjer potrebujemo hitro protierozijsko zaščito brežine.

Delovišče mora biti dostopno s strojem, saj je doseg nanosa brez gumjaste cevi 25 do 40 m, s cevjo pa do 150 m. Zagotoviti je potrebno ustrezno osončenost in vlažnost za rast travne mešanice, v sušnem obdobju naj se zagotovi škropljenje (Steinman in sod., 2009). Razrasla travna ruša ne zahteva posebnega vzdrževanja, razen občasne košnje.

3.2.16 Kordonska zasaditev

Zavarovanje predstavlja enostavno in učinkovito ureditev, ki povezuje tehnična in biotehnična dela. Sadike grmovnih vrst ali zakoreninjence zgoščeno sadimo v do 20 cm globok jarek v pobočje. Vkopi so nagnjeni proti pobočju, z navpičnim odkopnim delom. Zasaditev izvajamo od spodaj navzgor - spodnjo, že zasajeno polico, zasujemo z odkopnim materialom naslednje. Površine med posameznimi vkopi zatravimo. Že po enem letu se razvijejo strnjeni živi grmasti plotovi, ki v nekaj letih tla stabilizirajo v obsegu, ki dopušča med grmovnicami pogozdovanje (Marušič, 1995).



Slika 39: Kordonska zasaditev (Vir: Progetto F.R.A.N.E., 2005)

3.3 Metode za izboljšanje habitatnih razmer

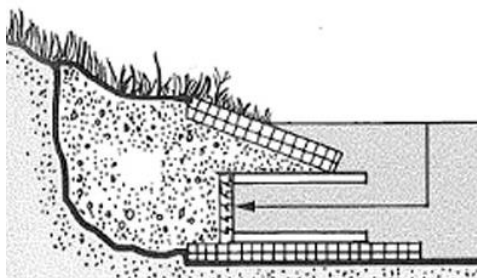
Posebne habitatne tipe se v vodotokih zgradi za zagotavljanje življenjske pestrosti vodotoka. Namenjeni so specifični živalski vrsti, največkrat ribam, ki jim tako zagotovimo skrivališče in vzpostavimo nov habitat.

3.3.1 Nadstrešno zavarovanje

Nadstreški so zavarovanja, zgrajena iz debel, ki so pravokotno vkopana v okljuk brežine. Na debela so pravokotno položene deske, na katere se nasuje kamenje, in med deske zatakne olesenelo grmičevje.

Tovrstna zavarovanja, v katerih se zadržuje voda, ustvarjajo življenjski prostor vodnim žuželkam in manjšim vodnim organizmom, ki predstavljajo hrano ribam, potočnim rakom in pticam. Prednost nadstrešnega zavarovanja je v tem, da so izdelani iz lokalnih gradiv, ki se nahajajo v neposredni bližini vodotokov. Ni potrebna nadelava dostopnih poti, uporaba večjih gradbenih strojev, bistveno nižji so tudi stroški transportov, krajši pa je tudi čas izvedbe. Če se vzporedno zgornji del žepov med skalami zasuje s prstjo ali dodatno utrdi tudi brežine z zemljino, je z vegetativno zasaditvijo omogočena vzpostavitev ali obnovitev obrežne vegetacije, kar dodatno prispeva k stabilizaciji brežin.

Zavarovanja so primerna kot točkovne ureditve za vodotoke z nizkimi vodostaji, z meandri in okljuki, s tolmuni, za stranske rokave in za vodotoke, kjer je zaželen zaščitni pokrov brežine. Na notranji strani okljukov niso najbolj učinkoviti. Opisano zavarovanje pa ni primerno za vodotoke z močnejšim erozijskim delovanjem, razen če so zagotovljeni dodatni ukrepi za stabilizacijo le-teh (FISRWG, 1998).



Slika 40: Nadstrešno zavarovanje (Vir: <http://www.zzrs.si/article/Usmeritve-in-priporocila-ZZRS-pri-nacrtovanju-pose.html>)

3.3.2 Skrivališče za ribe

Skrivališče za ribe se postavi na zunanji strani okljuka. Zgrajeno je iz debelejših desk in hlodov. Hlode se zabije v strugo vodotoka, nanje se položi deske, ki so lahko delno vkopane v brežino in

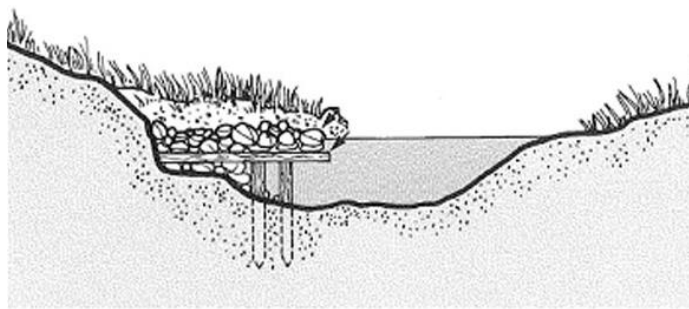
na katere se nasuje zemljina. V zemljino se posadi vegetacija. Pod skrivališčem je potrebno odstraniti vse večje (> 8 cm) frakcije kamnin.

Zasnova ureditve je odprta struktura škatlaste oblike, ki je v celoti izvedena v lesu. Umeščena je tako, da je ob povprečnem pretoku pod gladino vodnega toka. Na ta način se ribam in drugim vodnim organizmom omogoča tako zatočišče kakor skrivališče pred plenilci. V primerih šibkejšega erozijskega delovanja vodotoka se lahko taka ureditev uporablja za stabilizacijo brežine vodotoka.

Uporaba je primerna za vodotoke, kjer na daljših odsekih ni naravnih zavetišč za ribe in želimo z izboljšanjem ekoloških razmer ustvariti ustrezne ribje habitate. Pomembno je, da so skrivališča dovolj velika, da je prisotna stalna voda ter da se plavine pred vhomom sproti odplavljajo. Podobno kot predhodno opisano zavarovanje tudi to z vzpostavitvijo tal na brežinah in vegetativno zasaditvijo povečuje stabilnost brežin in omogoča obnovitev obrežne vegetacije. Skrivališča za ribe se pogosto uporabljajo v povezavi s stranskimi odbijači toka in jezovi za usmerjanje toka v vodotokih z gramozno-prodnato strugo.

Gradnja ni priporočljiva v vodotokih z velikim deležem sedimentov.

V primerjavi z nadstrešnim zavarovanjem ta ureditev zahteva večja finančna sredstva, zanjo pa je potrebna tudi (težja) gradbena mehanizacija.



Slika 41: Primer umetno ustvarjenih skrivališč za ribe (Vir: <http://www.zzrs.si/article/Usmeritve-in-priporocila-ZZRS-pri-nactovanju-pose.html>)

4 VZDRŽEVANJE INŽENIRSKO BIOLOŠKIH METOD

Način in obseg vzdrževanja inženirsko bioloških ureditev je odvisen od vrste uporabljene metode in se razlikuje od vzdrževanja klasičnih (tehničnih) metod stabilizacije. Letno vzdrževanje klasičnih in sonaravnih ureditev predvideva pregledovanje in zamenjavo odnešenih ali nagnitih delov z novimi. Pri klasičnih metodah se predvideva nadomestitev odnešenega materiala (kamnov, skal), saniranje razpok armiranobetonskih utrditev ... Pri inženirsko bioloških metodah se po nekaj rastnih sezonah priporoča sečnja višjih dreves in odstranjevanje pregoste vegetacije na brežini, da se zagotovi enakomerno prekoreninjenje. Pri brežinah, utrjenih s travno rušo, je potrebno zagotoviti redno košnjo.

Ob neustreznem vzdrževanju oz. ob opustitvi sečnje vegetacije se ta na brežinah preveč razraste in s svojo lastno težo vpliva na nosilnost tal, kar na določenih vrstah tal lahko sproži plazenje brežine. Če se vegetacija razraste preveč v višino zaradi nezadostnega obrezovanja, veter prek visokega drevja rahlja tla in povzroča ruvanje dreves. V kotanjah, ki nastanejo zaradi delovanja vetra na drevje, se nabira večja količina vode, ki vpliva na nosilnost brežine in lahko sproži plazenje ali drsenje hribine (Steinman in sod., 2009). Zaradi vetroloma ali žledoloma se lahko drevesa prevrnejo v strugo potoka in ga posledično zaježijo. Ob takih (naravnih) nesrečah je potrebno debela čim prej odstraniti, saj se tako prepreči nastanek še večje škode. Preveč razrasla vegetacija lahko zoži prečni profil struge in močno vpliva na njeno pretočno sposobnost.

5 SKLEPNE UGOTOVITVE

Urejanje brežin vodotokov z inženirsko biološkimi metodami stabilizacije je skladno s cilji Zakona o vodah, sprejetega leta 2002, in z Okvirno direktivo o vodah (Direktiva, 2000), prav tako pa z upoštevanjem značilnosti območij posegov vsebinsko sledi načelnim usmeritvam Zakona o prostorskem načrtovanju (ZPNačrt, 2007). Zato je urejanje vodotokov z uporabo inženirsko bioloških ureditev, ki temelji na vgradnji naravnega gradiva in predvsem saditvi živih rastlin ter vzpostavitvi sonaravne ureditve ekosistemov, pozitivna usmeritev tako z vidika varstva pred škodljivim delovanjem voda, kakor tudi z vidika okoljske sprejemljivosti in krajinske prepoznavnosti vodotokov in obvodnega prostora.

Inženirsko biološke metode so v primerjavi s klasičnimi metodami stabilizacije stroškovno sprejemljivejše in manj zahtevne za gradnjo. Zaradi večjega obsega ročnega dela so uporabne na oddaljenih in težje dostopnih mestih, kjer ni mogoč pristop s težjo gradbeno mehanizacijo. Za gradnjo se največkrat uporablja domač in lokalno dosegljiv material, tako se poveča ekonomska učinkovitost. Ob ustreznem vzdrževanju je življenjska doba inženirsko bioloških stabilizacij dolga (50 in več let). Z gradnjo inženirsko bioloških metod se omogoča ugodne razmere za razvoj življenjskih habitatov vodnih in obvodnih organizmov. Razrasel površinski pokrov oblikuje okolje (temperatura, osenčenost, skrivališče pred plenilci, prostor za razmnoževalni cikel) in se vklaplja v obvodno krajino.



Slika 42: Kombinacija različnih inženirsko bioloških metod stabilizacije (Vir: Progetto F.R.A.N.E. , 2005)

Inženirsko biološke metode za stabilizacijo brežin so raznovrstne in uporabne za točkovna, linijska in ploskovna zavarovanja. Med seboj jih je možno kombinirati (npr. zaščita pete brežine s skalometom/kamnometom s potaknjenci, preostala brežina z živimi fašinami, navpičnimi potaknjenci, vrbovimi popleti, živimi plotovi ...), lahko pa so nadgradnja tehničnim

zgradbam. Slednje je ustrezná rešitev za vodotoke, pri katerih so hitrosti in strižne sile vodnega toka na brežino prevelike za samostojno inženirsko biološko stabilizacijo. Zaradi tega se na najbolj izpostavljenih mestih zgradi klasično (tehnično) varovanje, najpogosteje skalomet/kamnomet. Preostalo brežino pa se zavaruje s poljubno sonaravno utrditvijo.



Slika 43: Kombinacija klasične ureditve na peti brežine, nad njo sonaravna utrditev brežine vodotoka (Vir: Progetto F.R.A.N.E., 2005)

Za inženirsko biološke stabilizacije je značilno, da zgradbe za zagotavljanje željene odpornosti na hitrosti in strižne sile vodnega toka potrebujejo čas, saj je za ukoreninjanje potrebna vsaj ena vegetacijska sezona. Da rastje popolnoma prevzame svojo funkcijo varovanja, so potrebna tri do štiri leta. (Rusjan, 2009) Za izvedbo je potreben večji obseg fizičnih del, nujna pa so tudi specifična znanja in izkušnje.

Odločitev za uporabo inženirsko bioloških metod stabilizacije je odvisna od vrste vodotoka (npr. režim, hitrost vodnega toka, pretočne razmere, plavljenje ...), lokalnega obsega poškodb brežine in osnovnih značilnosti brežine (npr. naklon, vrsta zemljine, površinski pokrov ...), naravne ohranjenosti vodotoka oziroma načrtovalske usmeritve k sonaravnemu urejanju vodotoka, preteklih posegov in njihovega stanja, prostora, ki je na voljo za izvedbo ukrepa, razpoložljivih denarnih sredstev, ki so na voljo za sanacijo, in možnosti dostopa z gradbeno mehanizacijo. V gorskem in hribovitem svetu je temeljno izhodišče ohranjanje naravne izoblikovanosti strug, tudi dostop z delovnimi stroji ni možen, zato je načrtovanje in uporaba inženirsko bioloških metod okolju primerna in izvedbeno praktična izbira. Izbira vrste zavarovanja je pogojena tudi z lastnostmi konkretne lokacije (npr. osončenost in zadostna vlažnost zemljine v brežini omogočata uspešno ukoreninjenje in rast živih gradiv).

Pri gradnji inženirsko bioloških stabilizacijskih ureditev je upoštevanje letnega časa in padavinskih razmer ključnega pomena. V izogib visokim vodam se gradnjo načrtuje v obdobju nizkih vodostajev, ki nastopijo na večini vodotokov pozno jeseni, pozimi in zgodaj pomladi - pred taljenjem snega. Če je za gradnjo stabilizacije potrebna težja gradbena mehanizacija, je priporočljivo, da so tla suha ali zmrznjena. Spomladanskemu izvajanju gradbenih del se izogibamo zaradi razmočenosti terena in visokih voda. Z gradnjo je potrebno končati pred časom gnezditvene sezone ptic in drstenja rib.

Za učinkovitost inženirsko bioloških metod so pomembni pravilno načrtovanje vrste in obsega stabilizacije, kakovostna izvedba z ustreznim živim gradivom ter redno spremljanje in vzdrževanje. Pomembni so letni pregledi poškodovanosti brežin zaradi morebitne lokalne nestabilnosti ali erozije in stanje vegetacije. Vso propadlo, poškodovano, zgnilo ali posušeno rastlinje je potrebno odstraniti in zamenjati z novim. Rastlinje je občasno potrebno selektivno razredčiti, da se obnovi in okrepi.

Stroški vzdrževanja klasičnih in inženirsko bioloških stabilizacij so vezani na vrsto vgrajene metode. Pri klasičnih metodah je ob pravilni gradnji, začetno vzdrževanje cenejše, saj ne zahtevajo nadomestitve propadlih živih delov. S časoma pod vplivi okolja (vodne sile, premiki brežine, temperatura, zmrzal ...) začnejo klasične ureditve propadati, takrat so za ustrezno obnovo potrebna višja denarna vlaganja. Pri inženirsko bioloških metodah so stroški razdeljeni enakomerno in niso visoke vrednosti. V začetnih rastnih obdobjih (1 do 3 rastne sezone) med stroške vzdrževanja sodijo nadomestitve zgnilih ali posušenih živih gradiv, nato pa redčenje pregoste vegetacije, sečnje dreves in košnja trave.

6 ZAKLJUČEK

Inženirsko biološke metode so primerne za sanacijo stanja (odpravljanje poškodb in zmanjšanje obremenitev), za preventivno urejanje (odpravljanje vzrokov ali omilitve njihovega obsega za nastanek erozijskih procesov), prav tako pa tudi za sonaravno preurejanje v preteklosti reguliranih vodotokov (prilagoditev okoljskim razmeram in krajinski zgradbi) ter vzpostavitev vidno privlačnega prostora. Sonaravne stabilizacijske ureditve tako predstavljajo potencial za sočasno izvajanje drugih nekonfliktnih, predvsem prostočasnih dejavnosti.

Se je pa potrebno zavedati umeščenosti obravnavanih metod tako znotraj celovitega upravljanja z vodami kakor tudi kompleksnega prostorskega načrtovanja z določitvijo namenske rabe prostora in organizacije posameznih dejavnosti v prostoru. Vodotokom je treba zagotoviti prostor za dinamične naravne procese, kar še posebej velja za načrtovanje ter umeščanje poselitve in infrastrukture.

Na podlagi pregledane literature in primerov dobre prakse na področju urejanja voda v diplomskem delu ugotavljam, da so inženirsko biološke metode stabilizacije primerne za (manjše) vodotoke, ki jim želimo ohranjati ekološko ravnovesje in čim bolj naraven in okoliški krajini prilagojen videz. Sonaravne metode so skladne z načeli veljavne zakonodaje, odpornost in trajnost stabilizacijskih zgradb sta ob rednem pregledovanju in vzdrževanju primerljivi s klasičnimi ureditvami, le da je gradnja manj zahtevna in stroškovno ugodnejša.

VIRI

Abramson, L. W., Lee, T. S., Sharma, S., and Boyce, G. M. 1996. Slope Stability and Stabilization Methods. New York. John Wiley & Sons.

Allen, H. H. in Fischenich, J. C. 2001. Brush Mattresses for Streambank Erosion Control. EMRRP Technical Notes Collection. ERDC TN EMRRP- SR-23. Vicksburg. U.S. Army Engineer Research and Development Center: 8 f.

Fischenich, J. C. 2001. Stability thresholds for stream restoration materials. EMRRP Technical Notes Collection. ERDC-TN-EMRRP-SR-29. Vicksburg. U.S. Army Engineering Research and Development Center: 11 f.

FISRWG. 1998. (pregledano 2001). Stream Corridor Restoration. Principles, Processes and Practices. The Federal Interagency Stream Restoration Working Group: str. 572-586.

Ghiassian, H., Gray, D. H., & Hryciw, R. 1997. Seepage considerations and stability of sandy slopes stabilized by anchored geosynthetics. Proceedings, Geosynthetics '97. St. Paul, IFAI: str. 581-593.

Gray, D. H. in Sotir, R. 1996. Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization. New York. John Wiley and Sons: 381 str.

Hutchinson, J. N. 1978. Assessment of the effectiveness of corrective measures in relation to geologic conditions and types of slope movement. Bulletin Intl. Association of Engineering Geologists 16: str. 131-155.

Horvat, A. (ur.). Analiza posledic neurij novembra 2000 na hudourniških območjih Slovenije. Končno poročilo. 2001. Ljubljana. Republika Slovenija Ministrstvo za obrambo: str. 118-120.

Marušič, J. (ur.). 2005. Pravila za vzdržno urejanje posegov v vode. Ciljni raziskovalni program »Konkurenčnost Slovenije 2001-2006«. Končno poročilo. Ljubljana. Ministrstvo za okolje in prostor, Urad RS za prostorsko planiranje, Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in tehnologijo: str. 9, 67.

Marušič, J. (ur.). 1995. Priročnik za urejanje obcestne krajine. Ureditvene smernice. Ljubljana. Ministrstvo za okolje in prostor, Urad RS za prostorsko planiranje: str. 33-34, 42-43.

McCullah, J. A. 2004. Bio Draw 3.0. Salix Applied Earthcare. Redding. Programska oprema.

-
- Mikoš, M. 2001. Urejanje vodotokov. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za splošno hidrotehniko: str. 145, 156-166, 179-180.
- Mikoš, M., Krajnc, A., Matičič, B., Müller, J., Rakovec, J., Roš, M., Brilly, M. 2003. Hidrološko izrazje = Terminology in hydrology. Acta hydrotechnica 20, 32.
ftp://ksh.fgg.uni-lj.si/acta/a32_1.pdf (Pridobljeno 20. 4. 2014.)
- Nardin, G., Dini, M., Turk, D., Peressutti, A. Progetto F.R.A.N.E. Foreste: Recupero Ambientale Naturalistico Ecologico. 2006. Regione autonoma Friuli Venezia Giulia. Direzione centrale risorse agricole, naturali, forestali e montagna: str. 319.
- NCHRP. National Cooperative Highway Research Program. 2005. Project 24-19. Environmentally Sensitive Channel-and Bank-Protection Measures. 2005. American Association of State Highway and Transport Officials, Federal Highway Administration. Zgoščenka.
- Ogrin, D. (ur.). 1970. Cesta in krajina. Zbornik mednarodnega seminarja urejanja krajine ob avtomobilskih cestah. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta. Inštitut za vrtnarstvo in oblikovanje krajine: 171 str.
- Progetto F.R.A.N.E. Foreste: Recupero Ambientale Naturalistico Ecologico. 2005. Regione autonoma Friuli Venezia Giulia. Direzione centrale risorse agricole, naturali, forestali e montagna. Zgoščenka.
- Racin, J. A. in Hoover, T. P. 2001. Gabion Mesh Corrosion: Field Study of Test Panels and Full-scale Facilities. Final Report No. FHWA-CA-TL-99-23. Sacramento. State of California Department of Transportation, Division of New Technology and Research: 137 str.
- Rak, G., Steinman, F., Gosar., L. 2008. Pomen nizkih pragov ob visokih vodah. Ujma 22, 22-22: str. 31-36.
- Repnik Mah, P., Mikoš, M., Bizjak, A. 2010. Hydromorphological Classification Of Slovenian Rivers = Hidromorfološka tipizacija slovenskih rek. Acta geographica Slovenica 2, 50-2: 201-229.
- Rusjan, S. 2009. Sonaravno urejanje vodotokov v luči doseganja okoljskih ciljev Vodne direktive. Gradbeniške iskricice 10, 1-10: 13-14.
- Schiechtl, H. M., Stern, R. 1996. Water Bioengineering Techniques for Watercourse Bank and Shoreline Protection. Blackwell Science Inc.: 224 str.

Steinman, F., Papež, J., Rak, G., Kozelj, K. 2009. Inženirska biologija. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za mehaniko tekočin z laboratorijem: str. 68, 99-105.

Suhadolnik, P. 2007. Urejanje hudournikov in varstvo okolja na primeru Podlipščice. Diplomski naloga. Ljubljana. Univerza v Ljubljani. Biotehniška fakulteta. Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: str. 14-26.

VGP Soča. Vodnogospodarsko podjetje Soča. 1999. Program vzdrževalnih del na Soči v Trenti. Ljubljana. Ministrstvo za okolje in prostor.

Vrhovšek, D., Vovk Korže, A. 2008. Ekoremediacije kanaliziranih vodotokov. Ljubljana. Limnos d.o.o in Univerza v Mariboru, Filozofska fakulteta, Mednarodni center za ekoremediacije: str. 8-10, 133, 135-136, 138-147, 149.

http://watershedbmps.com/?page_id=1025 (Pridobljeno 14. 4. 2014.)

<http://de.wikipedia.org/wiki/Buhne#mediaviewer/Datei:Ruhr.jpg> (Pridobljeno 27. 8. 2014.)

<http://www.co.winnebago.wi.us/lwcd/project/category/lwcd-project-category/shoreline-habitat-restoration> (Pridobljeno 27. 8. 2014.)

<http://huttsatwork.files.wordpress.com/2013/02/willow-in-place-c-duncan-hutt.jpg> (Pridobljeno 27. 8. 2014.)

<http://stopsilt.com/newimages/hydroseeding/RiverGlennGreenArmorSystem.JPG>
(Pridobljeno 28. 8. 2014.)

<http://www.zzrs.si/article/Usmeritve-in-priporocila-ZZRS-pri-nacrtovanju-pose.html>
(Pridobljeno 29. 8. 2014.)

Zakonodaja

Direktiva o vodah - Direktiva 2000/60/EC. Evropski parlament in svet.

Ministrstvo za kulturo Republike Slovenije. 2013. Opise enote žive kulturne dediščine – gradnja kranjskih sten.

(http://www.mk.gov.si/fileadmin/mk.gov.si/pageuploads/Ministrstvo/Razvidi/RKD_Ziva/Rzd-02_00027.pdf) (Pridobljeno 8. 8. 2014)

Strokovne podlage za pripravo Načrta upravljanja voda v Sloveniji 2009-2015. Ministrstvo za okolje in prostor.

Zakon o vodah. Uradni list RS št. 67/02, 110/02 in 57/08.

Zakon o prostorskem načrtovanju. Uradni list RS št. 33/07.

SEZNAM PRILOG

Priloga A: Preglednica inženirsko bioloških ukrepov za stabilizacijo rečnih strug

Preglednica inženirsko bioloških metod za stabilizacijo rečnih strug

Nacin stabilizacije	Najvecja dovoljena hitrost [m/s]	Najvecja dovoljena strizna sila [N/m ²]	Material	Čas vgradnje	Zahtevnost gradnje	Stroški gradnje	Vzdrževanje	Prednosti	Omejitve
Nizki pragovi	/	/	Les, kamen	Vse leto	Enostavna	Nizki	Menjava prepereelih lesenih delov	Upočasnitev vodnega toka	Erozijski tolmun lahko spodfede prag
Jezbece (odbljaci toka)	/	/	Les, kamen, živo gradivo	Vse leto	Srednje zahtevna	Nizki	Menjava prepereelih lesenih delov	Preusmeritev vodnega toka	/
Zaščita s kosmatim lesom	≥ 1,80	/	Debla iglavcev, jeklenice	Vse leto	Enostavna	Nizki	Menjava debel z vejami	Enostavna in hitra gradnja, takojšnja zaščita	Začasna rešitev, neprimerno za ozke struge, poškodbe zaradi ledu
Zaščita brežine s hidrovino	≥ 3,00	/	Debla podrtih, poškodovanih dreves	Vse leto	Enostavna	Nizki	Menjava prepereelih in odnešenih lesenih delov	Enostavna in hitra gradnja, takojšnja zaščita, pojav tolmunov	Poškodbe zaradi ledu, življenjska doba 5 do 15 let
Preoblikovanj e naklonov in zasadtjev brežine	3,30 (brez zaščite)	/	Humus in vegetacija	Vse leto, zasadtjev vegetacije jeseni ali pomladi	Srednje zahtevna	Zmerni, naraščajo z višino brežine	/	Zmanjšanje hitrosti in striznih sil, ustvarjanje obvodnih habitatov	Prostor, ki je na voljo ob brežini, neprimerno za flišna in lapornata tla, nujna zasadtjev vegetacije
Poplet (vrbov poplet)	2,70-8,20	20-390	Les, veje, živo gradivo, vrvi	Pozna jesen, zima, zgodnja pomlad	Zmerna	Zmerni, naraščajo s površino brežine	Preverjanje zaščite pete brežine	Takojšnja zaščita brežine,	Ni primerno za brežino, ki drsi, možnost pojavljanja zračnih žepov
Zvitki iz geoteksila	1,50-3,70	10-146	Geoteksili, zemlja, živo gradivo, les	Pozna jesen, zima, zgodnja pomlad	Zmerna	Zmerni	Preverjanje ukoreninjenosti vegetacije, lesenih kolčkov in vrv	Takojšnja zaščita brežine, naraven videz, prilagodljivost	Življenjska doba samih zvitkov 6-10 let*
Porasle žičnate košare (porasli gabioni)	2,00-4,30	/	Žičnate košare, kamnito polnilo, živo gradivo	Pozna jesen, zima, zgodnja pomlad	Srednje zahtevna	Visoki	Preverjanje korozivnosti in pretge žice, nadomeščanje izgubljenega polnila, preverjanje filtrske plasti	Takojšnja zaščita brežine, primerno za strme brežine, potrebujejo malo prostora, prožnost	Gradnja temelja, velika teža, gradnja filtrske plasti, življenjska doba cca 16 let*, ne primerno za vodotoke z veliko sedimenti in plavinami

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice

Cevasti gabioni iz geotekstila in grmičevja	/	230-650	Geotekstil, živo gradivo	Pozna jesen, zima, zgodnja pomlad	Zahtevna	Visoki	Preverjanje poškodb geotekstila	Takošnja zaščita brežine, primerno za sirme brežine, potrebujejo malo prostora	Velika teža, gradnja temelja
Potaknjenci	0,64-2,00	146-488	Les, živo gradivo	Pozna jesen, zgodnja pomlad	Zmerna	Nizki	Zamenjava zgornjih potaknjencev, preverjanje pojavnosti zračnih žepov, sečnja in redčenje potaknjencev	Hitra vzpostavitev obrežne vegetacije, velika možnost samoobnove	Možnost pojavljanja zračnih žepov
Skalomet/kamnomet s potaknjenci	/	/	Skale/kamni, živo gradivo	Vse leto	Srednje zahtevna	Zmerni	Zapolnitev odnešenih mest, preverjanje stika med saniranim in nesanimim delom brežina, sečnja in redčenje vegetacije	Enostavna gradnja, takojšnja zaščita, dolga življenjska doba	Gradnja filtrske plasti, velika teža
Lesene kašte	/	/	Lesena debela, kamni, živo gradivo	Vse leto	Zahtevna	Visoki	Menjava preperelih lesenih delov, nadomeščanje polnila	Enostavna gradnja, takojšnja zaščita, dolga življenjska doba, kulturna dediščina, enostavno dograjevanje	Gradnja temelja, velika teža
Žive fašine	1,00-3,00	290-390	Les, veje, živo gradivo, vrvi	Pozna jesen, zima, zgodnja pomlad	Srednje zahtevna	Nizki	Letni pregled in zamenjava poškodovanih delov	Zaščita pred površinsko erozijo, odlaganje sedimentov, prilagodljivost	Gradnja zaščite na peti brežine, veliko fizičnega dela, zadostno varovanje po 2-3 letih
Žive ščetke	1,00-3,70	19-586	Živo gradivo	Pozna jesen, zima, zgodnja pomlad	Srednje zahtevna	Nizki	Preverjanje ukoreninjenosti, premikanje brežine	Takošnja zaščita, obvodni habitat, preprečevanje jarkovne in žlebične erozije	Gradnja zaščite na peti brežine,
Živi plotovi	/	/	Les, prožne veje, živo gradivo	Pozna jesen, zima, zgodnja pomlad	Enostavna	Nizki	Preverjanje gnilobe in ukoreninjenosti ter nadomestitev	Takošnja zaščita, ni posega v brežino in strugo vodotoka	Le za počasi tekoče površinske vodotoke

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice

Oblaganje s travno rušo	/	/	Travna ruša	Jesen, pomlad	Enostavna	Nizki	Košnja po potrebi	Prilagodljivost na okolje, hitro zavarovanje pred erozijo, možnost ozelenitve tudi tam, kjer naravno ni možna	Zagotovljena stabilnost po 2 do 3 letih
Vodna setev z dodatkom rasne pulpe	/	/	Vodna mešanica semen z dodatki	Jesen, pomlad	Enostavna	Srednji	Košnja po potrebi	Prilagodljivost	Zagotoviti dostop do brežine
Kordonska zasaditev	/	/	Grmičevje	Jesen, pomlad	Enostavna	Nizki	Nadomestitev neukoreninjene vegetacije, sečnja po potrebi	Enostavna gradnja	/
Nadstrešno zavarovanje	/	/	Debla, deske, kamenje, humus, živo gradivo	Vse leto	Enostavna	Nizki	Nadomestitev neukoreninjene vegetacije, sečnja po potrebi	Enostavna gradnja, popostritev habitata	/
Skrivališča za ribe	/	/	Debla, deske, kamenje, humus, živo gradivo	Vse leto	Enostavna	Zmerni	Nadomestitev neukoreninjene vegetacije, sečnja po potrebi	Enostavna gradnja, popostritev habitata	/

* če brez vegetacije

