

GDK 116.6

EKOLOŠKE OSNOVE UREJANJA EROZIJSKIH OBMOČIJ

Aleš HORVAT*

Izvleček

Protierozijsko ukrepanje je lahko boljše ali slabše prilagojeno okolju. V prispevku so podani kriteriji za sonaravno načrtovanje in izvajanje različnih vrst protierozijskih ukrepov; gozdno-kulturnih, tehničnih, biotehničnih, agrotehničnih, družbeno-pravnih. Sonaravnost zahteva kompleksno urejanje erozijskih območij, varstvo pred erozijo mora biti temeljni sestavni del prostorskih načrtov. Potrebni so strokovna in kadrovska kontinuiteta ter dolgoročno urejen sistem financiranja. Okolje sprejema samo evolucijo, revoluciji se odločno upira.

Ključne besede: erozijska območja, protierozijski ukrepi, sonaravnost, urejanje, prostorsko načrtovanje.

ANTI-EROSION MEASURES FROM THE ECOLOGICAL POINT OF VIEW

Aleš HORVAT*

Abstract

The adaption of anti-erosion measures to the environment can be of a higher or lower degree. The article presents the criteria for environmentally adequate planning and carrying out of different kinds of anti-erosion measures: silvicultural, technical, biotechnical, agrotechnical, socio-legal ones. Environmentally adequate planning requires a complex way of the carrying out of anti-erosion measures and the prevention of erosion has to be a constituent part of environmental plans. A continuity as regards profession and personnel as well as a long-term financing system are absolutely necessary. The environment accepts only evolution and it strongly rejects revolution.

Key words: erosion area, anti-erosion measures, environmentally adequate managing, erosion area management, environmental planning

* mag., dipl.ing., pom.dir. za projektivo in razvoj, Podjetje za urejanje hudournikov p.o., Hajdrihova 28, 61 000 Ljubljana, SLO

KAZALO

1	UVOD	7
2	KRITERIJI ZA UREJANJE EROZIJSKIH OBMOČIJ NA EKOLOŠKI OSNOVI	7
2.1	Gozdno kulturni ukrepi	7
2.1.1	Zatravitvena dela	7
2.1.2	Pogozdovalna dela	10
2.2	Tehnični ukrepi	12
2.2.1	Tehnični ukrepi v hudourniških strugah	13
2.2.1.1	Oblikovanje tras hudourniških strug	14
2.2.1.2	Prečni objekti	15
2.2.1.2.1	Prečni objekti v spodnjih in srednjih tekih hudournikov	16
2.2.1.2.2	Prečni objekti v zgornjih tekih hudournikov (in zgornjem delu srednjih tekov)	17
2.2.1.2.3	Sonaravno oblikovanje prečnih objektov	18
2.2.1.2.4	Pragovi	18
2.2.1.2.5	Drče	22
2.2.1.2.6	Pregrade	23
2.2.1.3	Vzdolžne ureditve	24
2.2.1.3.1	Kinete	25
2.2.1.3.2	Regulacije	25
2.2.1.3.3	Vzdolžne obrežne zgradbe	27
2.3	Biotehnični ukrepi	33
2.4	Agrotehnični ukrepi	35
2.5	Družbeno-pravna regulativa	36
2.6	Celovitost protierozijskih ukrepov na ekološki osnovi	37
3	SKLEPNE MISLI	37
4	POVZETEK	39
	SUMMARY	39
	VIRI	40

1 UVOD

Za zadnja desetletja je značilno pogosto, mnogokrat tudi nedomišljeno poseganje v prostor. Naravno ravnovesje v kulturni krajini je vedno pogosteje ogroženo, še zlasti v hribovitih predelih, saj urbanizacija, sodobno kmetijstvo, turizem in druge dejavnosti vse bolj nedomišljeno posegajo v te, nekoč dokaj odmaknjene predele. Porušeno ravnovesje v svetu, potencialno ogroženem od erozije, pa nujno zahteva protierozijsko ukrepanje za preprečevanje prevelikih škod, vendar mora tudi to ukrepanje biti čimbolj sonaravno, okolju prilagojeno.

V dolgoletni praksi urejanja erozijskih območij v svetu in tudi pri nas so se izoblikovali številni protierozijski ukrepi, ki se primerno vklaplajo v kulturno krajino, vendar poznamo žal tudi nekatere, okolju ne preveč prijazne rešitve.

V pričujočem delu želimo tako na osnovi pozitivnih izkušenj iz več kot 100-letne tradicije urejanja erozijskih območij v Sloveniji in še zlasti na osnovi analize uporabljenih ukrepov v Polhograjskih Dolomitih kot po najnovejših dognanjih, objavljenih v svetovni strokovni literaturi, ter po lastnih spoznanjih predstaviti bistvene kriterije sonaravnega urejanja erozijskih območij.

2 KRITERIJI ZA UREJANJE EROZIJSKIH OBMOČIJ NA EKOLOŠKI OSNOVI

2.1 Gozdno kulturni ukrepi

2.1.1 Zatravitvena dela

Zatravitvena dela izvajamo z različnimi postopki sejanja travnih mešanic ali pa s polaganjem travne ruše. Slednje je danes že redek in hkrati tudi zelo drag ukrep, ki pa z ekološkega stališča ni sporen, če uporabljamo avtohtone vrste travne ruše.

Pri zatravitvenih ukrepih se srečujemo s posebnim problemom, to je z dobavo kakovostnega semena. V Sloveniji je namreč travna semenska baza zelo slabo razvita, zato moramo večino semen dobivati iz uvoza. Pri tem pa problem niso vrste, saj so te enake kot pri nas, temveč v izboru rastišču najprimernejših vrst.

Večinoma opravljamo zatratitve z različnimi načini setve mešanic travnega semenja. Z ekološkega stališča je pomembno, da uporabljamo v mešanicah tiste vrste trav, ki so prilagojene obravnavanemu okolju. Za zatratljanje močno degradiranih tal nam je za uporabo na voljo le manjše število težkim ekološkim razmeram prilagodljivih vrst. Vendar pride v nekaj letih do samodejnega nasemenjevanja s sosednjih travnatih površin, tako da postane postopoma tudi na erozijskih površinah travniški ekosistem podoben tistemu v soseščini.

Pri sejanju trav uporabljamo različne tehnike v odvisnosti od nagiba in stopnje erodiranosti posameznih površin. V grobem jih lahko razdelimo v tri vrste postopkov:

- navadno setev,
- vodno setev,
- setev z nastilom.

Pri vseh vrstah dodajamo semenski mešanici gnojilo, ki ima podobno vlogo kot gnojenje pri pogozdovanju v težkih rastiščnih razmerah. Gnojila dodajamo v manjših količinah. Količina in pogostnost dodanega "inputa" mora biti v skladu z nosilno kapaciteto ekosistema. Z ekološkega vidika je poleg količine in pogostnosti pomembna tudi izbrana vrsta gnojila.

Usklajenost z nosilno kapaciteto ekosistema pomeni takšno količinsko in kvalitativno dodajanje gnojil, da se stabilnost talnega sistema oziroma njegova samoregulacija ne poruši. Najprimernejša je prav gotovo uporaba naravnega hlevskega gnoja, ki pa zaradi zelo omejenih količin, cene in težav s transportom le redko pride v poštev. V glavnem so v uporabi različne vrste umetnih gnojil, v zadnjem času pa tudi t.i. bio gnojila, katerih osnova je večinoma dehidriran kokošji gnoj.

Pri uporabi umetnega gnojila je poleg uporabe nosilni kapaciteti ekosistema ustrezne količine pomembna tudi izbira tlor primerne vrste. Osnova za izbiro vrste umetnega gnojila naj bi bili rezultati pedoloških analiz tal, saj lahko tlor dodajamo le tiste makro- in mikroelemente, ki jih primanjkuje. Prevelike količine posameznih soli mikro- ali makroelementov lahko pripeljejo do neugodnih posledic v obravnavanih ekosistemih, bodisi do fitotoksičnih koncentracij ali pa do njihovega izločanja v podtalnico. Resnici na ljubo pa je vendar treba povedati, da je količinsko tako absolutno kot sorazmerno problem uporabe umetnih gnojil kot "inputa" na erozijskih površinah praktično zanemarljiv v primerjavi z njihovo uporabo na kmetijskih površinah.

Ekološka merila za navadno, to je ročno setev semenske mešanice in gnojila z zagrebitvijo ali brez nje, so bili v bistvu podani že v predhodnem razglabljanju. Tem merilom se pri vodni setvi in setvi z nastilom pridruži še vprašanje primernosti dodatkov iz naravnih ali sintetičnih organskih snovi, ki izboljšujejo fizikalne, kemične in mikrobiološke razmere tal oziroma povežejo talne delce ter tako preprečijo njihovo spiranje in odplavljanje. Osvetliti pa moramo tudi primernost materialov, ki se uporabljajo kot nastil, ki zastira zatravljene površine in izboljšuje ekološke možnosti za kaljenje in rast trav.

Za izboljšavo fizikalnih lastnosti tal dodajamo pri nas pri vodni setvi mešanici vode, semena in gnojila običajno naslednje dodatke: Agrosil (reverzibilno koloidalni natrijev silikat), želatino 100 D in želatino Tri-x (poliuronid - koncentrat iz morskih alg) ter Hygromul (formaldehidna pena). Te snovi, ki jih dodajajo v manjših količinah, predstavljajo začetni input, v težkih ekoloških razmerah pa kot organogene oz. humifikaciji podvržene snovi ne predstavljajo ekološko neprimerne materiala.

Kot nastil, tvorivo za zastiranje in izboljševanje mikroklimatskih razmer, uporabljamo seno, slamo, celulozo in glede na specifične naravne in gospodarske razmere še nekatere druge organske snovi (sekanci, lubje,...). Vse te snovi so organskega izvora in so v procesu naravnega razpadanja postopoma podvržene humifikaciji, so torej ekološko primerne. V času razpadanja pa začne postopno nadomeščati njihove funkcije v protierozijski zaščiti in izboljševanju mikroklimatskih razmer že nastopajoče ustrezno travinje. Pozitiven mikroklimatski vpliv nastila se kaže v povečevanju vlažnosti, zmanjševanju temperaturnih nihanj, zaščiti pred sončnim sevanjem, vetrom, ...

Pri razmišljanju o pomembnosti uporabe nastila velja omeniti še rezultate naših nedavnih primerjalnih raziskav o uporabi različnih tehnik zatravitvev v ekstremnih ekoloških razmerah na erodiranih površinah Zvoha nad Krvavcem, na višini okoli 1800 m nm (HORVAT 1989). Rezultati teh raziskav na vzorčnih ploskvah so pokazali, da pri kvaliteti in rasti trav ni bilo bistvenih razlik med uporabo različnih semenskih mešanic in gnojil, pač pa se je pokazala izrazita razlika med površinami, kjer so setev opravili brez oziroma z uporabo nastila. Na površinah z nastilom so bili pri kaljenju (1 mesec po setvi) in pri razvoju trav po 1 letu rezultati 3-4 -krat boljši kot na površinah brez nastila. Ti rezultati kažejo, da bi lahko z uporabo ekološko primerne, a precej dragega nastila v zatravitveni tehniki še bolj zmanjšali uporabo umetnih gnojil. Za vezavo nastila (da ga ne plavi voda, odpiha veter, porabi divjad za prehrano) uporabljamo bitumensko-vodno emulzijo, delno hidrolizirani polivinil acetat in raztopino celuloze v vodi.

Vse te snovi delujejo kot koloidi, ki poleg vezanja nastila povežejo tudi semena in talne delce. Bitumen, ki je temne barve, pa tudi mikroklimatsko ugodno učinkuje, v hladnem okolju poveča absorpcijo sončnih žarkov in tako ustvarja toplejšo mikroklimo. Omenjene snovi dodajamo v zelo majhnih količinah, so netopne in razpadajo nekatere hitreje, druge pa počasneje. Zaradi takih lastnosti jih imamo lahko v majhnih količinah za okolju še sprejemljive.

2.1.2 Pogozdovalna dela

Pogozdovalna dela na erozijskih območjih izvajamo z uporabo različnih tehnik. Uspehe je možno doseči na I., II. in III. kategoriji erozijskih površin, medtem ko predstavljajo IV. kategorijo površine, kjer pogozdovanja niso več uspešna. (LUJIĆ 1973).

Pravilna izbira drevesnih in grmovnih vrst je osnova kakovostnega, uspešnega, ekološko primernega pogozdovanja. Izbrati moramo rastišče ustrezne vrste, ki laže uspejo in zanesljiveje prehajajo v stabilne fitocenozе. Z ekološkega vidika morajo imeti prednost lokalne avtohtone vrste, pa še med temi varietete, ki so glede na odpornost zelo težkim rastiščnim razmeram najustreznejše. Na erozijskih površinah uporabljamo v prvi fazi predvsem tiste pionirske vrste, ki lahko v tako težkih naravnih razmerah uspejo in tako oblikujejo predkulturo, ki se po opravljeni nalogi postopno umakne gozdnemu sestoju, sestavljenemu iz za posamezno rastišče ustreznih drevesnih in grmovnih vrst.

Mišljenje, da lahko že pri prvem pogozdovanju na ekstremnih rastiščih uporabimo večje število vrst in oblikujemo stabilen, mešan sestoj, pa je zmotno. Težke rastiščne razmere, ki jih označujejo številnim rastlinskim vrstam neprimerne življenjske razmere, zožujejo njihovo izbiro na redke pionirske vrste.

S sonaravnega vidika je pomembna tudi izbira lokalno primernih tipov posameznih drevesnih in grmovnih vrst, pri čemer iščemo najboljši ekotip (ki obsega kombinacijo klimatotip, cenotip). Ponovno je treba poudariti, kakšne naj bi bile zelene lastnosti vrst, ki jih uporabljamo pri pogozdovanju (PURTE 1948):

- da ustrezajo rastiščnim razmeram (klimi, zemljišču, reliefu, ki so nosilci osnovnih rastiščnih razmer),
- da nudijo različne ekonomske koristi

- in da so odporne proti negativnim biotičnim in abiotičnim vplivom (boleznim, škodljivcem, vetru, ledu, snegu,...).

Izbira vrst je torej že v osnovi rastiščno pogojena, kar so dobro spoznali že naši predniki.

Pri pogozdovanju uporabljamo različne načine setve in sadnje. Za slednje so v uporabi materiali tako semenskega kot vegetativnega izvora. Osnova kakovostnemu, sonaravnemu pogozdovanju je torej dovolj široka izbira semenskega oziroma sadnega materiala.

Tehnike pogozdovanja moramo prilagoditi naravnim možnostim. V erozijskih območjih Slovenije je strojna sadnja zaradi neugodnega terena v glavnem onemogočena. Zatekamo se k različnim tipom ročne sadnje, ki so se postopno uveljavili.

Poseben primer pogozdovanja je uporaba sadik v kontejnerjih, katerih namen je zlasti zmanjšati šok za rastlino ob presaditvi in podaljšati obdobje možnega pogozdovanja v letu. Tudi tu je osnova sonaravnosti izbira ustreznih vrst.

Zaradi ekstremnosti življenjskih razmer so za sadnjo v erozijskih žariščih sadike v kontejnerjih še zlasti primerne. Pri saditvi želimo doseči čim večji uspeh, eden bistvenih pogojev za to pa je zmanjševanje šoka ob presaditvi mlade rastline iz drevesnice v naravno okolje. Poleg uporabe sadik v kontejnerjih skušamo mladim rastlinam pomagati tudi tako, da jim dodajamo zemljo-humus, šoto ali gnojilo. Vse te oblike predstavljajo primeren input, ki mora biti prilagojen rastiščnim razmeram. Gre za sonaraven ukrep, za pomoč rastlinam v boju za preživetje, kjer narava še vedno izvaja pozitivno selekcijo.

V ekstremnih razmerah pa pogosto ne zadošča le pomoč v času sadnje, temveč jo izvajamo še eno do dve leti. V glavnem gre za dognojevanje, kjer moramo na osnovi pedoloških analiz dodajati kakovostno in količinsko rastišču oz. tlom primerna hranila, oz. gnojila.

Nega mladih rastlin je nepogrešljiv sestavni del pogozdovanja. Negovalne ukrepe v gozdnih kulturah lahko razdelimo v dve fazi:

- v nego kulture do oblikovanja sklenjenega sklopa krošenj
- in v nego kulture po izoblikovanem sklenjenem sklopu krošenj

V prvi fazi nege skrbimo za izboljšanje rastiščnih razmer, za dopolnjevanje kultur in njihovo zaščito. Pri izboljšanju rastiščnih razmer se v glavnem ukvarjamo z zatiranjem plevela in ostalih neželenih rastlinskih vrst. Te ukrepe lahko uvrstimo med ukrepe, primerne sonaravnemu gospodarjenju, če jih izvajajo z mehaničnimi sredstvi. Izmed kemičnih sredstev pa bi veljalo uporabljati le tista, ki imajo atest ekološke neoporečnosti. Dopolnjevanje kultur je normalen proces, ki naj se izvaja z ustreznim, že opisanim sadnim materialom.

Zaščita gozdnih kultur vsebuje v glavnem zaščito pred negativnimi učinki paše divjadi in živine, kar dosegamo z okolju primernimi živimi ali umetnimi ograjami oz. z električnimi pastirji. Druga, še pomembnejša oblika zaščite, je zaščita pred požari. V uporabi so različne vrste protipožarnih presek v povezavi z organiziranimi sistemi za opazovanje in ukrepanje. Vse to delovanje je normalen, okolju primeren ukrep gospodarjenja v kulturni krajini.

V drugi fazi, po sklenitvi zastora krošenj, čistimo in redčimo sestoje. Bistvo teh ukrepov je pospeševanje naravnih selekcijskih procesov, ki v okolju nenehno potekajo, so s sonaravnega vidika primerni in zato njihovo pospeševanje ni sporno. Ti ukrepi se od klasičnih gozdnogojitvenih ukrepov razlikujejo po tem, da so podrejeni varovalni funkciji gozda in so tako vsi selekcijski cilji prvenstveno varovalni.

2.2 Tehnični ukrepi

S tehničnimi ureditvenimi ukrepi posegamo v erozijska območja zlasti takrat, ko prevladujeta v njih globinska erozija in korozija. Razdelimo jih lahko v dve skupini:

- v tehnične ukrepe v hudourniških strugah
- in v tehnične ukrepe v širših erozijskih žariščih (obravnavali jih bomo med biotehničnimi ukrepi).

2.2.1 Tehnični ukrepi v hudourniških strugah

Tehnični ukrepi v hudourniških strugah so v glavnem namenjeni preprečevanju pretiranega poglobljanja dna, zaščiti brežin in pobočij pred poudarjeno bočno erozijo, uravnavanju sproščanja, odplavljanja in transporta plavin, razprševanju vodnih tokov. Vse to dosegamo z ustrezno uporabo prečnih in vzdolžnih objektov. Med vsemi protierozijskimi ukrepi so prav ti tisti, ki so ekološko najbolj kočljivi.

Pred podrobnejšimi usmeritvami za sonaravno izvajanje tehničnih ukrepov si najprej oglejmo, kakšne so tipične značilnosti "naravnega" hudournika.

Hudournik je hribovski vodotok z erodibilnim zlivnim območjem ali (in) erodibilno strugo, z razmeroma velikimi padci in velikim razmerjem med pretoki visokih in nizkih voda. Značilni zanj so tudi masovni transporti hidrološko neprebranih plavin (PINTAR 1983).

Glede na dolžino obdobja med posameznimi hudourniški izbruhi se vodni in obvodni ekosistemi različno razvijajo, saj ob visokih vodah v zgornjih in srednjih, delno pa tudi spodnjih tekih prihaja do masovnega odplavljanja živih organizmov in s tem regresivnih razvojnih stadijev.

Naravni hudournik karakterizirajo torej naslednje lastnosti:

- neenakomeren, naravnim danostim prilagojen potek njegove trase,
- velika nihanja vode, z za živi svet pogosto kritičnimi nizkimi pretoki,
- globinska razgibanost dna struge (tolmuni, sipine, ...),
- širinska razgibanost dna struge,
- pestra vodna in obvodna vegetacija,
- pestrost vodnega in obvodnega živalskega sveta,
- velika vsebnost kisika in s tem zelo visoka samočistilna sposobnost

Tako rastlinski kot živalski svet je številnejši in pestrejši v spodnjih tekih hudournikov, više ko gremo, težje so življenske razmere, to pa se odraža v vse večji vrstni in številčni skromnosti. Velika nihanja voda, zelo skromni minimalni pretoki ali celo občasne presahnitve v zgornjih in srednjih tekih onemogočajo primerne življenske možnosti zlasti ribjemu življu.

2.2.1.1 Oblikovanje tras hudourniških strug

Hudourniška struga je naravni ekosistem, ki ga, kadar zaradi nedomišljenih posegov ni pretirano preoblikovan, odlikujejo vse tipične lastnosti vodnih in obvodnih ekosistemov. Značilna je zlasti vsestranska pestrost, saj si od izvira do izliva sledijo različni biotopi s populacijami organizmov, prilagojenih različnim habitatom. Turbulenca vode, različne podlage, količina in struktura plavin, fizikalno-kemijske lastnosti vode so dejavniki, ki pogojujejo pestrost biocenoz. Pri oblikovanju hudourniških strug na odsekih, kjer so potrebni posegi zaradi porušenega naravnega ravnovesja, je sonaravno oblikovanje trase struge možno doseči z upoštevanjem kriterijev globinske in širinske razgibanosti. Osnova projektiranja je še vedno ravnovesni profil, ki pa je lokalno spremenljiv. Težimo k rešitvam, kjer bo premestitvena zmožnost hudournika enaka njegovi prodonosnosti, kjer se bo dno struge obnavljalo brez pretiranega spreminjanja nivelete.

Pri načrtovanju globinske in širinske razgibanosti moramo upoštevati količino transportiranih plavin, še zlasti pa njihovo granulacijsko sestavo.

Pri sonaravnem oblikovanju trase hudournika moramo upoštevati zlasti naslednja merila:

- izogibajmo se vsakršni monotoniji, zlasti pa daljšim novim linijam (TRATNIK 1988),
- krivine naj si sledijo kontinuirano, brez prisilnih prem,
- radiji krivin naj znašajo 10-15, izjemoma 5-kratno širino struge (PINTAR 1983),
- kjer je le mogoče naj trasa poteka med dvema krivinama v obliki prehodnice,
- po možnosti načrtujemo nesimetrične prečne profile (BERTOK 1989),
- po možnosti načrtujemo manjše lokalne razširitve in zožitve, vendar tako, da ne bi prišlo do pretirane sedimentacije ali poglabljanja,
- vijuganje znotraj struge lahko dosežemo tudi z vgradnjo deflektorjev v preširoko korito; njihova uporaba je priporočljiva le na odsekih z mirnim tekem; zožitve je smotrno izvesti le do tiste meje, ko povečana pretočna hitrost še ne prekorači odpornosti dna struge (skica št.1).

Pri oblikovanju trase in pretočnih profilov v hudourniških strugah je z ekološkega vidika pomembno upoštevati tudi kriterij vodne hitrosti in minimalnih globin.

V tistih hudourniških strugah, kjer obstajajo naravne možnosti za razvoj ribjega življa, želimo temu ustrezno oblikovati pretočne globine voda. V

splošnem naj bi zadostili pogoju, da znaša najmanjša ribam še ugodna globina vode pri nizkem vodostaju približno 25 cm (TRATNIK 1988). Pri tem pa seveda ne smemo pozabiti na nujnost ustvarjanja plitvin, kjer ribji zarod počiva oziroma se drsti.

Na razvoj in ohranitev organizmov v vodnem teku pomembno vpliva vodna hitrost. V divjih alpskih hudourniških strugah je njihovo dno skoraj sterilno, medtem ko je v hudourniških strugah sredogorja in še posebno v večini spodnjih tekov že precej drugače, saj manjše hitrosti vode omogočajo razvoj številnih organizmov v vodnem teku.

Po dosedanjih raziskavah se hitrostna meja, pod katero je življenje v vodi še možno, giblje okoli 3,5 m/s (TRATNIK 1988). Ko vodna hitrost preseže to mejo, voda organizme odplavlja.

Z ustreznim načrtovanjem trase in pretočnih profilov lahko na precejšnjem številu hudourniških vodotokov v njihovih spodnjih in delno tudi srednjih tekih ohranjamo pretočne hitrosti v takih mejah, da je obstoj živega sveta, vsaj kar zadeva ta omejujoči ekološki dejavnik, še omogočen.

2.2.1.2 Prečni objekti

S prečnimi objekti preprečujemo poglobljanje dna struge, zadržujemo plavine, podpiramo narušene bregove, prekinjamo masovne Transporte plavin ob neurjih, zadržujemo visokovodni val,... Delimo jih v pregrade in pragove, vendar meja med njimi ni izrazita. Pretežno govorimo o pragih takrat, ko za njimi ni omembe vrednega zaplavlka. Delimo jih v tiste s stopnjami in one brez stopenj ali talne pragove.

Prečni objekti pomembno vplivajo na samočistilno sposobnost hudournikov. Pogoj za doseganje popolnega samočiščenja so zadostne količine vsrkanega kisika v vodi. Na vsebnost kisika v hudourniškem vodnem toku najpomembneje vplivata transport plavin in še zlasti turbulenca vode, ki ju najlaže in z najmanjšim tveganjem, da bi porušili ravnovesne razmere v hudourniških strugah, uravnavamo prav z izgradnjo prečnih objektov.

Prečni objekti naj bi bili postavljeni in konstruirani tako, da ob hudourniških izbruhih preprečujejo ali vsaj omilijo neugodne posledice visokih voda, pri nizkih ali srednjih vodah pa naj se čim bolj prilagodijo zahtevam življenja v hudourniški strugi. Najpogosteje prihaja do dilem, kako

zadostiti zahtevam po migraciji ribjih vrst, ki tam živijo (avtohtone vrste), in tistih, ki potujejo po hudournikih navzgor v času drstitve (alohtone vrste). Pri načrtovanju poteka nivelete hudourniških strug se je v njihovih spodnjih in v dobršnjem delu srednjih tekov ponavadi možno prilagoditi migracijskim zahtevam ribjega življa. Problem pa nastane v zgornjem delu srednjih tekov hudournikov in v njihovih zgornjih tekih, kjer so erozijski pojavi običajno izrazitejši in prihaja ob izbruhih pogosto do masovnih premikov plavin, kar pa lahko v glavnem omilimo le z izgradnjo ustrezno visokih zaplavno-konsolidacijskih pregrad in pragov. Višine teh objektov običajno presegajo zelene višine glede na kriterij neprekinjenih ribjih poti. Zato so v zgornjih tekih ribje poti pogosto prekinjene, kar pa se zaradi nizkih srednjih letnih pretokov, pogostih presahnitev voda ter naravnih stopenj pogosto dogaja tudi v tistih hudournikih, v katere človek ne posega.

2.2.1.2.1 Prečni objekti v spodnjih in srednjih tekih hudournikov

V spodnjih in srednjih tekih hudournikov naj bi pretočne profile in niveleto oblikovali tako, da hitrost vodnega toka ne bi presegla mej, ki še omogočajo obstanek živih organizmov v vodi. Kot že omenjeno, kažejo raziskave, da je mejna hitrost, ki še omogoča življenje v vodi, približno 3,5 m/s. Mišljena je seveda hitrost, ki se v hudourniški strugi pojavi ob višjih in visokih vodah. Pri nizkih vodah pa se tudi mejna hitrost zniža in znaša le še okoli 0,70 m/s (TRATNIK 1988).

Pri večjih hitrostih pričenja voda večino organizmov že odplavljati. Zaradi vrtinčenja, ki pri njih nastaja, in s tem povezane večje vsebnosti kisika, so večje hitrosti zaželene pri tistih redkih organizmih, ki potrebujejo veliko kisika, to pa so pri nas zlasti salmonidne ribje vrste.

Zahteve po smotrnem urejanju hudourniških strug nalagajo, da se višina prečnih objektov načeloma prilagaja velikosti vodotokov in pričakovanim pojavom visokih oz. katastrofalnih vod v njih, hkrati pa je tudi zaželeno, da za zagotovitev možnosti migracije ribjih vrst ta višina ne bi presegala nekaterih vrednosti. Tako naj bi znašala v hudournikih s ciprinidi le kakih 20-30 cm, v tistih s salmonidi pa ca 50-60 cm. To so namreč višine, ki so jih posamezne ribje vrste še sposobne premagovati (BERTOK 1989), s tehničnega vidika pa so tudi izvedljive.

Zato naj bi potek nivelete struge poleg ostalih okoliščin, ki izhajajo iz naravnih danosti (potek trase, hidrološke razmere, struktura hribin in zemljin, ...), upošteval tudi migracijske zahteve ribjega življa.

Ponekod nam naravne danosti onemogočajo izgradnjo zgolj večjega števila nižjih pragov, hkrati pa je potrebno premostiti večjo višinsko razliko. V takih primerih lahko ohranimo migracijske poti le na ta način, da ob višjem pragu ali celo pregradi zgradimo ribjo stezo ali pa da premostimo višinsko razliko s prečnim objektom v obliki drče, če je to možno. Tako drče kot ribje steze morajo biti tako konstruirane, da bodo brez večje škode prestale divjanje visokih voda v hudourniških strugah. Naš cilj je uskladitev migracijskih procesov ob nizkih vodah z zeleno trdnostjo oziroma odpornostjo, zgrajenega objekta ob visokih vodah.

2.2.1.2.2 Prečni objekti v zgornjih tekih hudournikov (in zgornjem delu srednjih tekov)

V zgornjih tekih hudournikov se soočamo s poudarjenimi erozijskimi procesi, pogosta je labilnost ali pogojna stabilnost brežin oziroma pobočij, ob hudourniških izbruhih pa se srečujemo z izrazitim masovnim transportom plavin in vsemi neugodnimi spremljajočimi posledicami.

Bistvo urejanja hudourniških območij je v pravilnem ukrepanju, preventivnem urejanju v območju poznanih ali potencialnih erozijskih žarišč, ki se v naših razmerah pojavljajo predvsem v zgornjih in deloma zgornjih delih srednjih tekov hudournikov, katerih bistvena lastnost so pogosti obsežni transporti hidrološko neprebranih plavin.

Pri različnih načinih omiljevanja teh procesov je cilj zagotavljanje čim bolj ravnovesnih razmer, pri čemer imajo pomembno vlogo tudi prečni objekti, in sicer tako pragovi kot še zlasti pregrade, saj naravne danosti in cilji urejanja pogojujejo in narekujejo izgradnjo višjih objektov. Prečni objekti imajo ali stabilizacijsko ali zaplavno funkcijo, pogosto pa kar obe hkrati.

Prečni objekti tvorijo niz trdnih točk v podolžnem profilu struge, podolžni padec nad njimi se zmanjšuje, temu ustrezno pa se manjšata tudi vlečna in porivna sila vode. Hkrati opirajo tako sami kot s svojimi zaplavki labilna ali pogojno stabilna pobočja in preprečujejo njihovo spodjedanje. Z njimi zadržujemo plavine, ki so bodisi že odložene v strugi ali pa jih šele pričakujemo iz višjih predelov. Tudi ko je zaplavni prostor že zapolnjen,

poteka v njem še vedno prebiranje plavin, še pomembnejša pa je njihova funkcija pri prekinjanju transporta plavin. Vse to lahko v glavnem dosežemo le z večjimi prečnimi objekti, kar še posebej velja za prekinjanje masovnega transporta plavin, ki ob hudourniških izbruhih povzroča največ škode.

Ti objekti so torej visoki tako zaradi naravnih danosti kot svoje funkcije (pri nas največkrat med 2,00 in 4,00 m), tako da onemogočajo migracijo ribjih vrst. Vendar je tudi v tako urejenih odsekih hudournikov še vedno možno separatno gospodarjenje z ribjim življem. Mnogi tako urejeni hudourniki predstavljajo najboljše gojitvene vode z izjemnimi gojitvenimi uspehi (Mačkov graben, Mala Božna ...). Lovne in gojitvene vode naj bi namreč bile zaradi znanega pojava kanibalizma med ribami ločene.

Zaradi pogosto neugodnih naravnih danosti je v teh predelih izgradnja drč možna le zelo redko, prav tako pa je, tudi zaradi neugodnih naravnih danosti, le izjemoma moč zagotoviti stabilnosti dna in brežin ustrezno konstrukcijo.

2.2.1.2.3 Sonaravno oblikovanje prečnih objektov

V hudourniški praksi poznamo sicer številne načine oblikovanja prečnih objektov, vendar želimo tu opozoriti predvsem na tiste rešitve, ki najbolj upoštevajo kriterije sonaravnosti.

Pravilna izbira gradiv lahko pripomore k čim bolj sonaravni izgradnji prečnih objektov. Objekti iz kamna, lesa, kamna v betonu so načeloma veliko bolj zaželeni od betonskih, ki pa se jim v določenih primerih tudi ne moremo izogniti. Pri izbiri najustreznejšega gradiva pa moramo poleg ekoloških upoštevati tudi ekonomske kriterije, zlasti še stroške vzdrževanja. Trezen razmislek nas ob tem prepriča, da stopnjo ekološke osveščenosti, žal, še vedno pogojujejo predvsem gospodarske možnosti.

2.2.1.2.4 Pragovi

Pri urejanju hudournikov uporabljamo talne pragove in pragove s stopnjami.

Talne pragove uporabljamo za stabilizacijo erozijskih jarkov v zgornjih delih hudourniških območij, pogosto pa tudi v spodnjih tekih hudournikov ter v kinetiranih strugah spodnjih tekov. Bistveni so ustrezno temeljenje ter dovolj globoko v brežine vkopana krila, sonaravnost pa lahko dosežemo zlasti z

uporabo okolju primernih gradiv (kamen, les...), kar nam kažejo nekatere uspele rešitve.

V srednjih in spodnjih tekih pa lahko s pravilnim oblikovanjem s talnimi pragovi poleg stabilizacijske funkcije, dosežemo tudi večjo razgibanost hudourniškega korita in se bolj približamo razmeram v naravnih strugah.

Talni prag lahko oblikujemo tako, da na prag dodamo krilne lesove, ki učinkujejo v dveh smereh:

- zberejo nizke vode in tako ugodno vplivajo na nastanek manjšega podslapnega tolmuna; z ekološkega vidika tako pridobi prag značaj praga s stopnjo, pojavi se omejena turbulenca, njena posledica pa je zelo zaželeno bogatenje vode s kisikom;
- ob visokih vodah dodatno podpirajo brežine, omogočajo dosedanje stabilnost ob uporabi lažjih, mehkejših vrst zavarovanj (skica, št.2)

Drugi način sonaravnega oblikovanja talnega praga je talni prag s podaljšanim prelivom. V bistvu gre za dvojni talni prag, kjer so na prečne lesove pribite poloblice tako, da oblikujejo 30-50 cm dolg nadstrešek, pod katerim nastane ribje skrivališče. Nadstrešek, krajši od 30 cm, nima ustreznega učinka (BERTOK 1989). Konstruktivna oblika nadstreška mora zagotavljati stabilnost ob visokih vodah.

Načrtovati je možno tudi kombinacijo med talnim pragom s krilnimi lesovi in talnim pragom s podaljšanim prelivom (skica št.2).

Poleg omenjenih vrst talnih pragov, ki so oblikovani iz lesa, kamna in kombinacij, so okolju primerni talni pragovi iz grobo zloženega kamna v suho. To so grobo oblikovani, dovolj masivni objekti, ki jih lahko konstruiramo tako, da pretok nizkih voda bodisi skoncentriramo bodisi razpršimo (skica št.3).

Pri vseh vrstah talnih pragov, kjer želimo doseči ustrezen podslapni tolmun, dna v podslapju ne utrjujemo, primerno zaščitimo le brežine v podslapju. Kjer dna v podslapju ne utrjujemo, moramo na osnovi izračuna predvidene globine, temelječega na zrnastosti sestavi dna in turbulentnosti v podslapju, prag in obrežna zavarovanja podslapja temeljiti dovolj globoko, da zaradi spodjedajočih tokov ne pride do porušenja pragov oz. obrežnih zavarovanj (skica št.4).

Pri taki, sonaravni izvedbi talnih pragov je zelo pomembna vgradnja vmesnih krilnih reber, ki preprečujejo verižno rušenje brežin ob eventualnih poškodbah.

Pri lesenih sonaravno oblikovanih pragovih je pomemben tudi ustrezen razmik in globina pilotov, ki jih v za zabijanje neugodnih razmerah nadomestimo s primernimi železnimi traverzami ali palicami.

Pragovi s stopnjami so najpogostejši prečni objekti v spodnjih in srednjih tekih hudournikov. Kot rečeno, jih želimo oblikovati tako, da bo zagotovljena nemotena migracija ribjega življa. Za uspešno migracijo pa ni dovolj zagotoviti le primerno višino pragov, ampak morajo imeti tudi tolmeni v podslapjih ustrezne razsežnosti, da lahko ribe pridobijo potrebno zagonsko hitrost za premagovanje ovir. Pri nižjih stopnjah naj bi bil podslapni tolmun globok vsaj 0,50 m, pri višjih pa 0.60 - 0.70 m (BERTOK 1989).

Če bi morali zgraditi pragove s stopnjami, višjimi od zelenih, jih lahko nadomestimo bodisi z drčami ali pa tudi s serijo manjših stopenj. Te morajo biti načrtovane v primerni medsebojni razdalji, ki mora biti najmanj tolikšna, da vodni skok-slap z zgornje stopnje ne more doseči preliva spodnje. Ta pogoj je nujen tako s stabilnostnega vidika kot s stališča zagotavljanja migracije ribjega življa. Pomembni so seveda dovolj dolgi in globoki podslapni tolmeni (skica št.6).

Tudi pri pragovih s stopnjami velja, da je zaželena uporaba različnih, okolju prilagojenih konstrukcij zlasti v kombinaciji lesa in kamna.

Zelo primerni so leseni pragovi s krilnimi nadvišanji (skica št.2), leseni pragovi s podaljšanim prelivom (skica št.3) in pragovi iz grobo zloženega kamna v suho (skica št.2). Njihove konstrukcijske lastnosti so podobne lastnostim posebno oblikovanih talnih pragov, razlika se pojavlja le v višini stopnje in s tem povezanimi zahtevami za zagotavljanje ustrezne trdnosti in temeljenja. Pri ureditvah v spodnjih in srednjih tekih hudournikov moramo pogosto uporabljati kombinacije med pragovi iz betona ali kamna v betonu ter pragovi, zgrajeni iz lesa, kamna in njunih kombinacij. Pragovi iz betona in kamna v betonu predstavljajo v takih sistemih ključne stopnje s trdnimi krili, so stabilnostna opora celotnemu sistemu. Kamnite pragove je možno oblikovati tudi tako, da dajejo videz kamnite zložbe brez veziva, pa so vseeno na manj vidnih mestih zaradi zagotavljanja ustrezne trdnosti povezani z betonom.

Betonski in pragovi iz kamna v betonu so nujni tudi tam, kjer se zahteva vodotesnost, bodisi zaradi odvzema vode za različne porabnike ali pa zaradi izboljšanja infiltracije v različna drenažna zajetja.

Tudi take pragove je možno v precejšnji meri prilagoditi zahtevam naravnega okolja. Tako se lahko grobemu ostrorobnemu prelivu izognemo z vgradnjo lesene okroglice v krono preliva ali pa z oblikovanjem slednje z obdelanim kamnom v cementni malti (skica št.5).

Tudi pri teh objektih je možno oblikovati preliv praga tako, da se nizke vode zbirajo, prav tako pa je možno izvesti tudi preliv z nadstreškom (skica št.2).

Podslapni tolmun in njegovo oblikovanje pod pragovi mora čim bolj upoštevati zahteve življenja v vodi, vendar to prilagojevanje ne sme iti na račun trdnosti in stabilnosti objekta. Čeprav bi bilo pogosto zaželeno, da podslapni tolmun vsaj v dnu ne bi bil utrjen, da bi bilo njegovo dno sestavljeno iz granulacijsko čimbolj raznolikega materiala, pa je prav z vidika stabilnosti objekta neutrjen tolmun, v katerem so bolj ali manj stalni močni srki, lahko zelo nevaren za porušenje.

Stabilnost in zrnavostno čimbolj raznoliko dno je možno doseči na ta način, da se na osnovi granulacijske strukture plavin, izračunanih debelin merodajnih zrn in tako izračunanih pričakovanih globin neutrjenih podslapij pragove temelji vsaj 0,50 m pod pričakovano dno neutrjenega podslapja, ki ga lahko utrdimo z grobo kamnito oblogo, postavljeno tako globoko, da jo bo prekrila vsaj 0,1 m debela plast plavin naravne zrnavostne sestave. Tako oblikovani pragovi zahtevajo, da pod projektirano niveleto dna struge vgradimo bistveno več prečnih lesov, pilote nabijamo zelo na gosto, pogosto pa moramo namesto klasičnih lesenih pragov le-te konstruirati kot eno- ali dvostenske lesene kašte (skica št.4).

Pri klasičnih lesenih pragovih lahko zaradi konstrukcijskih zahtev dosežemo do 0,40 m, maksimalno pa do 0,50 m globoke tolmuje.

Pri pragovih iz betona in kamna v betonu lahko neugodne posledice preglobokih tolmunov preprečimo z ustrezno globljim temeljenjem ter se dodatno zavarujemo s talnimi predpragovi.

Pri pragovih, kjer kot gradivo uporabljamo debelejši kamnit material, moramo ob oblikovanju globljih podslapnih tolmunov dodatno zagotoviti stabilnost objekta tako, da izberemo kamnit material ustrezno večjih

dimenzij in izvedemo dovolj globoko temeljenje. Pomagamo si lahko tudi z ojačitvijo zgradbe s piloti ali pa s položitvijo kamnitih blokov v podložni beton.

Pri vseh vrstah pragov s stopnjami moramo ne glede na različno oblikovano in zavarovano dno podslapij ustrezno utrditi tudi brežine podslapij. Pomembno je, da so zavarovanja brežin temeljena dovolj globoko. Pri vseh zavarovanjih, kjer ne uporabljamo betona, pa morajo biti brežine oblikovane pod naravnim stabilizacijskim kotom. Z izbiro ustreznih dimezij skal, ki jih najpogosteje uporabimo za taka zavarovanja, in po potrebi z dodatnim pilotiranjem moramo preprečiti neugodne posledice srkov.

Zaključni talni pragovi v podslapjih nudijo dobro oporo tudi obrežnim podslapnim zavarovanjem, še zlasti ugodno pa je, če imajo ti zaključni pragovi primerno oblikovana krilna rebra za preprečitev verižnih rušenj.

2.2.1.2.5 Drče

Razložili smo že, da je z ekološkega vidika zaželena uporaba drče v spodnjih tekih in spodnjih delih srednjih tekov hudournikov, ko moramo zaradi naravnih danosti na kratki razdalji premostiti velike niveletne razlike. Drče omogočajo nemoteno migracijo ribjega življa in so, če je njih izvedba možna, tudi tehnično primerno nadomestilo večjih stopenj.

Glede na gradivo za izvedbo drč razlikujemo kamnite in lesene drče ter lesene drče s kamnitim polnilom (skica št.6).

Lesene drče in lesene drče s kamnitim polnilom so primerne le v hudourniških strugah manjših razsežnosti, medtem ko so kamnite drče vsestransko uporabne in jih tudi najpogosteje uporabljajo.

Z ekološkega vidika mora biti drča oblikovana tako, da nudi skupaj z obrežnim zavarovanjem vodnemu življu čim prijaznejši in čim ugodnejši življenjski prostor. V širših strugah je pomembno, da ima drča v prečni smeri navzdol zaokroženo, kotanjasto obliko, kar omogoča koncentracijo minimalnih pretokov, s čimer je prehod ribjega življa omogočen tudi pri nizkih vodostajih.

Pomembna je stalna omočenost drč, kar najlaže dosežemo z njeno primerno hrapavostjo. Za omogočanje zadostnega zaleta ribjemu življu med prehodom

drče je potreben dovolj dolg in dovolj globok podslapni tolmun. Podolžni padci drč od 1:10 in več so idealni za migracijo, še sprejemljivi pa so padci do 1:6 (BERTOK 1989).

S stabilnostnega vidika je zlasti pomembno, da specifični pretok v drči ne preseže $9 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ (AULITZKY 1975).

Pri konstrukciji drč je poleg ekoloških potrebno upoštevati tudi stabilnostne zahteve objekta. Ob visokih vodah se na drčah pojavi močno turbulenten tek, zaradi česar je zelo pomembno sidranje celotne drče. Izvedemo ga bodisi z lesenimi piloti ali pa z železnimi traverzami, kadar je zabijanje težavnejše, po možnosti pa si pomagamo še z vgradnjo prečnih lesov. Pri drčah večjih razsežnosti vgradimo pogosto na njihovem začetku rebro iz betona ali iz kamna v betonu za izboljšanje njihove trdnosti.

Zaradi preprečitve neugodnih učinkov podslapnega tolmana je potrebno drčo konstruirati tako, da na njenem zaključku utrdimo dno struge na taki dolžini, kot bi ga utrdili pod klasično oblikovanim pragom ali pregrado.

Ker imamo ob visokih vodah pri drčah opraviti z vrtinčastim tokom, bi jih hidravlično korektno lahko dimenzionirali le na podlagi laboratorijsko narejenega hidravličnega modela. To pa je zahtevno in drago opravilo, in kljub korektnim vhodnim podatkom in dobro izvedenemu modelu še vedno lahko pride v naravnem okolju do bistvenih odstopanj. Zato uporabljamo pri praktičnem dimenzioniranju izkušnje iz dosedanjih del, ki so jih posamezni avtorji opisali v strokovni literaturi (Interpraevent, Aulitzky 1980, 1984, 1988).

2.2.1.2.6 Pregrade

V določenih primerih lahko dosežemo ustaliteni in zaplavni učinek v hudourniških strugah le z izgradnjo pregrad. Ekološko primernejša je izgradnja več manjših, namesto enega velikega objekta. Pomen primerne izbire gradiva smo omenili že v predhodnih poglavjih.

Kadar je izgradnja pregrad nujna tudi v tistih odsekih hudourniških strug, ki so pomembni za migracijo rib, lahko slednjo omogočimo tako, da načrtujemo v sklopu pregrade tudi izgradnjo ustrezno konstruirane in dimenzionirane ribje steze (skica št.7).

2.2.1.3 Vzdolžne ureditve

Poleg prečnih objektov uporabljamo pri urejanju hudourniških strug tudi ureditvene ukrepe v vzdolžni smeri. Z njimi ukrepamo bodisi točkovno za zaščito pred bočno erozijo bodisi na daljšem odseku, ko so naši naporii usmerjeni v povečanje pretočne zmogljivosti hudourniške struge. Z vzdolžnimi ureditvami, zlasti če z njimi urejamo daljše odseke, lahko povzročimo precejšnje ekološke spremembe v vodnem in obvodnem prostoru, ki se odražajo zlasti v:

- vrstni sestavi in gostoti organizmov talne favne,
- vrstni sestavi in gostoti vodne flore,
- vrstni sestavi in gostoti ihtiofavne,
- vrstni sestavi in gostoti organizmov obvodnega ekosistema
- ter vrstni sestavi in gostoti rastlin obvodnega ekosistema.

Pomembno je tudi, da se ob povečanih neugodnih spremembah v vodnem in obvodnem prostoru zmanjša samočistilna sposobnost hudournika in pride tako ob povečanem dotoku hranilnih snovi hitreje do eutrofikacije.

Bistvo sonaravnega urejanja je v tem, da vzdolžne ureditve načrtujemo in izvedemo tako, da omenjene neugodne ekološke spremembe čim bolj omilimo. Osnova pa je v tem, da skušamo ohraniti staro strugo z vsemi njenimi elementi ter zagotoviti takšno vzdrževanje pretočnega profila, da so "čepi" pravočasno odstranjeni in je tako omogočen neoviran odtok visokih voda ter zmanjšana možnost poškodb struge, ki v glavnem nastajajo kot posledica vrtnčenja vode ob ovirah v vodnem toku.

V primerih, ko ne moremo ohraniti stare struge, skušamo z vzdolžnimi ureditvami ukrepati tako, da v čim večji možni meri omejimo ukrepe le na eno brežino, drugo pa, vsaj na istem odseku, ohranjamo čim bolj nedotaknjeno.

Sonaravno načrtovanje vzdolžnih ureditev zahteva čim večjo uporabo vegetacije, bodisi kot samostojno gradivo ali pa kot dodatek k drugim gradivom. Cilj je doseči tako kombinacijo živih in mrtvih materialov, da bodo v čim večji možni meri upoštevani tako stabilnostna kot ekološka merila.

2.2.1.3.1 Kinete

Kinete so tip zavarovanja dna in brežin hudourniške struge, z namenom njih ustalitve. Kot eden najmanj zaželenih ukrepov so v naravnem okolju neprimerne. Uporabiti jih smemo le tam, kjer drugi ukrepi odpovedo:

- v zelo strmih jarkih, kjer stopnjevanje ni možno,
- v zaradi pozidave utesnjenih delih struge, kjer lahko poseljene površine zavarujemo pred visokimi vodami le s čim hitrejšim odvodom voda,
- v primerih, ko gre za kontroliran odvod voda ob ali prek nestabilnega ali pogojno stabilnega zemljišča, da se prepreči njihovo ponikanje...

Pri klasičnih kinetah razlikujemo tiste, ki imajo zidove in tlak oblikovan iz kamna v betonu, ter one, ki imajo ob kamniteh tlaku betonske zidove.

Takih kinet se pri sonaravnem urejanju izogibamo, primerne so le, kadar geomehanske karakteristike hribin zahtevajo odvod hudournih voda brez infiltracije.

Pri ustalitvi strmih hudourniških in erozijskih jarkov se kineti kot ukrepu ne moremo izogniti, lahko pa jo izvedemo v modernejši, okolju primernejši tehniki, bodisi strojno ali ročno kot tlak iz kamna v suho, občasno ojačan s stabilizacijskimi talnimi pragovi. Pri tako izvedeni kineti je potrebno v reže vsaditi potaknjence, oziroma jih zatraviti. Vegetacija kmalu obraste takšno vzdolžno zavarovanje, ki se v nekaj letih tako vizualno kot funkcionalno precej prilagodi naravnemu okolju.

2.2.1.3.2 Regulacije

Regulacijske ukrepe skušamo pri sonaravnem urejanju erozijskih območij čimbolj omejiti, vendar se jim pri reševanju posameznih problemov ne moremo izogniti. Marsikdaj je potrebno urediti naplavišča v spodnjih tekih hudournikov ter posamezne hudourniške odseke v srednjih tekih zaradi zavarovanja kulturnih zemljišč, naselij, prometnih in drugih gospodarskih objektov, pa tudi zato, da preprečimo močnejše erodiranje njihove struge v kulturni krajini. Tako uravnavanje vodne struge ima regulacijski značaj in je le lokalnega pomena. Gre predvsem za vzpostavljanje zelene varnosti prostora pred visokimi vodami in za takšno oblikovanje nivelete in prečnega profila struge hudournika, da bomo vzpostavili bodisi kompenzacijski bodisi stabilizacijski padec ter tako zagotovili ravnovesne razmere pri transportu plavin.

Pri sonaravnem urejanju erozijskih območij moramo stremeti k čim večjemu omejevanju regulacijskih ukrepov, pri njihovem načrtovanju pa v čim večji možni meri ohranjevati naravne brežine, torej pristopati selektivno, s čim več le enostranskimi ureditvami brežin. Naravne danosti pogojujejo konkretno načrtovanje, cilj pa je čim boljše ohranjanje naravnih razmer.

Pri uporabi različnih vrst zavarovanj v sklopu regulacijskih ukrepov se želimo čim bolj izogniti uporabi mrtvih materialov (beton, kamen v betonu, ...) in jih zato uporabljamo le tam, kjer to narekujejo naravne in prostorske danosti, od katerih je utesnjenost, oziroma pomanjkanje prostora eden izmed najpomembnejših vplivnih dejavnikov.

Regulacijske ukrepe je primerno oblikovati tako, da bo trasa struge vodotoka potekala čim bolj naravno, razpotegnjeno, brez ostrih krivin. Radij krivin naj znaša vsaj 10-15-kratno širino dna struge (izjema so močno utrjena korita, kjer naj je minimalni radij večji od 5-kratne širine dna struge) (PINTAR 1983).

Tako oblikovanje trase omogoča manj pogosto, bolj lokalno uporabo obrežnih zavarovanj, jezbic in vodilnih zgradb, večji odseki struge lahko ostanejo nezavarovani, naravni.

Ko načrtujemo regulacijske ukrepe, je pri oblikovanju pretočnega profila potrebno upoštevati odpornost brežin. Iz znanih fizikalnih zakonitosti o odpornosti vemo, da je pri enaki zrnavostni sestavi brežine ta tem bolj odporna čim bolj je položna. Oblikovanje blagih brežin je torej s sonaravnega vidika zelo zaželeno, saj za večjo odpornost zadošča celo lažja utrditev brežin, ekološko bolj primerno zavarovanje, ali pa se kakršnokoli ukrepanje lahko sploh opusti. V praksi pa je temu pogoju pogosto skoraj nemogoče zadostiti predvsem zaradi hudih zapletov, ki jih povzročata urejanje zemljiško-lastninskih vprašanj.

Uporaba čim bolj naravnih načinov zavarovanj, ko želimo ohraniti ali pa ponovno vzpostaviti obrežno vegetacijo, pa žal negativno vpliva na prevodnost hudourniških strug. V prikazanih skicah in tabelah podajamo rezultate nekaterih do sedaj objavljenih raziskovanj.

Na podlagi teh rezultatov moramo tudi ustrezno prilagoditi klasične hidravlične izračune glede na to, da zahteva sonaravno urejanje očitno mnogo več prostora za oblikovanje pretočnega profila potrebne prevodnosti, kot smo sicer navajeni.

Pri načrtovanju regulacijskih ukrepov pogosto stojimo pred vprašanjem, na kakšno varnost dimenzionirati profil struge, kar je še zlasti problematično na gozdnih in kmetijskih površinah ob hudourniških vodotokih. Pri tem moramo, glede na naravne danosti, od katerih je v tem primeru najpomembnejša erodibilnost, oceniti, ali gre za poplavne ali preplavne površine. Zaradi zelo neugodnih posledic erodiranja načrtujemo na preplavnih površinah čim večjo varnost, na poplavnih pa je občasno poplavljanje lahko celo zaželeno, zlasti zaradi zadrževanja odtoka voda, rezanja poplavnega vala, tako ob lokalnih nalivih kot ob dolgotrajnejših deževjih.

2.2.1.3.3 Vzdolžne obrežne zgradbe

Vzdolžne obrežne zgradbe uporabljamo takrat, ko voda neposredno ogroža bregove, tako da jih spodjeda predvsem z bočnim erodiranjem in komajda s poglobljanjem. Dobro premišljena izvedba teh zgradb je lahko zelo uporabna pri sonaravnem urejanju, saj z njimi ukrepamo lokalno, v jedru problemov. S takšnim mozaičnim ukrepanjem minimalno posegamo v naravno okolje, hkrati pa uspešno vzpostavljamo ravnovesne razmere v erozijskem območju. Cilji pri načrtovanju vzdolžnih obrežnih zgradb, t.j.:

- zavarovanje obrežij in vznožij pobočij pred spodjedanjem,
- nudenje opore za umirjanje in utrditev že narušenih pobočij
- in usmerjanje vodnih tokov proč od ogroženega območja

so skladni s sonaravnim gospodarjenjem, seveda pa je zgradbe potrebno tako tudi načrtovati, ne pa jih graditi tudi tam, kjer za to ni potrebe.

Pri urejanju daljših odsekov so s sonaravnega vidika primernejše jezbece, medtem ko uporabljamo obrežna zavarovanja na mestih, kjer je potrebna močnejša zaščita.

Vodilne zgradbe, ki so v hudourniških vodotokih redkeje uporabljene, vplivajo regulacijsko izraziteje, pogojujejo enakomernejše oblikovanje dna struge. S sonaravnega vidika pa skušamo namesto njih v čim večji možni meri uporabljati jezbece.

S stališča stabilnosti so jezbece zelo ugodne, saj predstavljajo nekakšen prehod med prečnimi in vzdolžnimi zgradbami. Kot posamezen objekt so po svoji funkciji dokaj podobne prečnim zgradbam. Glede na prilagodljivost naravi je pomembno, da lahko z zaplavnimi, varovalnimi in usmerjevalnimi jezbicami vplivamo tako na zmanjšanje kot na povečanje vlečne in porivne

sile vode in dosegame s tem želeno razgibanost v oblikovanju dna struge hudournika. Pojavljajo se mesta odlaganja plavin, prodišča, ter mesta poglobljanja - tolmoni. S stabilnostnega vidika je pomembno, da je ta razgibanost nadzorovana, oziroma omejena do tistega obsega, ko bi lahko prišlo do stabilnostno neugodnih posledic.

Za gradnjo jezbic je najprimernejše gradivo kamen, les, šibje, protje, žične košare, Zaželena je kombinacija z živim gradivom, tako da jezbrica sčasoma postane sestavni del obvodnega ekosistema.

Obrežna zavarovanja so najpogosteje uporabljen tip vzdolžnih obrežnih zgradb. Omenili smo že, da dajemo pri daljših ureditvah pri sonaravnem urejanju prednost jezbicam, obrežna zavarovanja pa uporabljamo tam, kjer drugačna zaščita ni zadovoljiva. Z njimi pa tudi zavarujemo ogrožene ali že narušene bregove, vznožja pobočij in posamezne objekte v neposredni bližini na obrežju.

S sonaravnega vidika so za obrežna zavarovanja najprimernejše oblike, v katerih kot gradivo nastopa avtohtona vegetacija, bodisi sama bodisi v kombinaciji z drugimi gradivi. Uporaba najprimernejšega gradiva za zavarovanje je podana s številnimi elementi, izmed katerih so najpomembnejši:

- prostorske možnosti,
- geomehanske lastnosti brežin in dna struge,
- geomorfološke razmere v zlivnem območju in v strugi,
- odpornost rastlinskih vrst proti hidrodinamičnim silam
- in možnosti za razvoj vegetacije.

Eden od ciljev sonaravnega urejanja območij je takšno kombiniranje mrtvih in živih materialov, ki bo zadostilo tako erozijski stabilnosti kot vizualni in funkcionalni primernosti okolju.

Med obrežnimi zavarovanji so zidovi tisti tip, ki se mu v naravnem okolju skušamo izogniti, vendar so marsikdaj prav naravne danosti tiste, ki zahtevajo njihovo izgradnjo.

S primerno izbiro gradiva lahko zid bolje vklopimo v okolje, saj so zid iz avtohtonega kamna ali pa lesene kašte, polnjene s tem kamnom, nedvomno bistveno primernejši kot beton.

Za izboljšanje ekoloških razmer ribjemu življu lahko vgradimo v zidove bočna zavetišča. Locirana morajo biti tako, da imajo stalno vodo in da

prihaja do stalnega odplavljanja plavin pred vhodom v skrivališča. Velikost skrivališč je različna, primerna pa variirajo okoli velikosti 0,50 m globine x 0,50 m višine x 1,00 m dolžine. (BERTOK 1989).

Izgradnja bočnih skrivališč je zaželena tudi tam, kjer utrjujemo daljše odseke struge z različnimi drugimi zavarovanji, pa tudi pri nezavarovanih brežinah. (skica št.9).

Podoben učinek lahko dosežemo s postavitvijo posameznih večjih skal pred temelj zidu. Te delujejo kot deflektorji, razgibajo vodni tek pri nizkih vodah, hkrati pa ne smejo biti previsoki, da ob visoki vodi ne bi prišlo do nezaželenega vrtinčenja.

Urejena razporeditev posameznih večjih skal je še zlasti zaželena v tistih primerih, ko moramo posamezne odseke struge obojestransko urediti z zidovi (skica št.9).

Klasična zavarovanja brežin s tlakom v betonu in v suho na peščeni podlagi se umikajo različnim vrstam strojno urejenih kamnitih zložb. S sonaravnega vidika se jim skušamo izogibati, zato jih smemo uporabljati v gosto urbaniziranem okolju, kjer pomanjkanje prostora onemogoča izbiro drugih zavarovanj in kjer zahteva omejeni pretočni profil čim manj hrapavo zavarovanje, z učinkovito zaščito pred obrusom, ki omogoča visoke pretočne hitrosti.

Obrežnim zavarovanjem iz armiranobetonskih kašt se skušamo izogibati. Uporabljali naj bi jih le na tistih mestih, kjer geomehanski pogoji zahtevajo trajno, podajno in precejno vrsto zavarovanja. S primerno izbiro vegetacijskih vrst pri zaščiti brežine nad kašto lahko le-to uspešneje vklopimo v okolje. Kjer je le možno, skušamo s sonaravnega vidika armiranobetonske kašte nadomestiti z lesenimi.

Zavarovanja iz žičnih košar so uporabna zlasti v tistih okoliščinah, ko se zahteva velika podajnost zgradb in ko zaradi težavnega transporta skušamo kot polnilo uporabiti priročni avtohtoni kamniti material. S sonaravnega vidika niso sporne, saj se primerno vključujejo v okolje. Med posamezne košare lahko položimo plasti živega vrbja v obliki potaknjencev in tako vzpostavimo uspešno prepletanje mrtvega in živega gradiva (skica št.10). Uporabljamo lahko tudi druge načine vnosa vegetacije (vnos sadik v jamice, cevaste gabione, satovje, ...).

Vegetacijske zgradbe iz vejevja ali protja raznih pionirskih, regenerativno sposobnih grmovnih vrst so tista oblika obrežnih zavarovanj, ki je naravnemu okolju najbližja. Uspešne so na odsekih, ki niso preveč izpostavljeni erozivnemu delovanju vode, kjer vlečna in porivna sila vode ne presežeta trdnosti vegetacijskih zgradb. V izrazitih konkavah ponavadi niso uspešne. Travnna ruša zdrži pritisk vlečne sile vode $20 - 30 \text{ Nm/m}^2$, zaščita z vrbovjem pa je zaradi različnih izvedbenih načinov, talnih razmer, vpliva plavljenja trdnostno zelo spremenljiva, vsekakor pa po praktičnih izkušnjah mnogo odpornejša. Obrežna zavarovanja z vegetacijskimi zgradbami so uspešna le na tistih odsekih, kjer so pretočni profili oblikovani s položnejšimi nagibi, največ do 1:1,5, torej v mejah naravnih stabilnostnih kotov posameznih hribin (skica št.11).

Pri vegetacijskih zgradbah ne smemo pozabiti, da odgnano in razraslo šibje zožuje prečni profil struge, tako da moramo pri ožjih vodotokih njegovo širino povečati za 10 - 20 %, pri širših pa za 5 - 10 % (ZEMLJIČ 1979). Zato je potrebno zagotoviti hudourniški strugi ustrezno večje površine oziroma urediti zemljiško - lastniške probleme.

Pri vegetacijskih zgradbah moramo opozoriti na dejstvo, da je tako zavarovanje zelo ogroženo v obdobju, dokler se vegetacija primerno ne zakorenini in razrase. Če pride v kritični dobi do pojava višjih pretokov voda, pride zelo pogosto do hudih poškodb zavarovanj, lahko pa tudi njihovega uničenja. Za omilitev takih poškodb je zaželeno, da se med taka zavarovanja na razdaljah 30 - 50 m vgradijo krilna rebra iz trdnejšega gradiva.

S sonaravnega vidika so zelo primerna obrežna zavarovanja, kjer uporabljamo različne kombinacije kamna in vegetacije. Dolgoletna opazovanja ob hudourniških vodotokih kažejo, da se pri tako kombiniranih zgradbah živa in neživa narava lepo dopolnjujeta, različna nizka vegetacija (mahovi, lišaji, alge, ...) se oprime v vodi ležečih kamnov, nastanejo naravnim zelo podobne biocenoze. Zato uporabljamo take zgradbe na tistih odsekih naravnih strug, kjer s čistimi vegetacijskimi zgradbami ni možno doseči zelene trdnosti zavarovanja (skica št. 8 in št. 12).

Uporaba kamna v obliki kamnometa ali kamnite zložbe v kombiniranem vegetacijsko - kamnitem obrežnem zavarovanju je potrebna zaradi naslednjih njegovih lastnosti:

- a) Stabilizacijski in zavarovalni učinek zgradbe v obliki kamnometa ali kamnite zložbe nastopi takoj, ko zgradbo zgradimo. Pri čistih vegetacijskih zgradbah pa kritična doba traja najmanj 1 leto.
- b) Zavarovanje iz kamnite zložbe je mogoče narediti tudi tako trdno, da lahko v stabilnih razmerah nadomesti zavarovanja iz zidov.
- c) Pretočni profil je z uporabo kamnite zložbe kot obrežnega zavarovanja možno oblikovati tudi v naklonu, bolj strmem od $1 : 1,5$, kar pomeni večjo možnost oblikovanja dvojnega profila in hkrati tudi pomemben prihranek prostora (TRATNIK 1988).
- d) Za razliko od čistih vegetacijskih so kamnito-vegetacijske zgradbe uporabne tudi v konkavah. Ker je cilj sonaravnega urejanja točkovno ukrepanje ali pa ukrepanje na krajših odsekih, je ta lastnost zelo pomembna.

Taka zavarovanja nadomestijo vegetacijske zgradbe v zelo prodonosnih hudournikih, ko stalni transport materiala onemogoča razvoj vegetacije.

S sonaravnega vidika je zaželeno, da sta kamnita zložba ali kamnomet oblikovana tako, da se ohranijo vmesni medprostori kot skrivališča za različne živalske vrste, zlasti ribe.

Zelo pogosto želijo naravovarstveniki in ribiči zato imeti zavarovanje v obliki izrazito neporavnane kamnometa, kar pa je s stabilnostnih razlogov na hudournikih le redko izvedljivo.

V hudourniških vodotokih je za presojo ravnovesnih razmer porivna sila bistveno pomembnejša od vlečne sile vode. Razmerje med porivno silo, ki deluje na prostoležeče telo in vlečno silo, ki deluje na pogreznjeno telo, je $1,7 : 0,04 = 42,5$ - kratno glede na stabilnost, če upoštevamo še faktor vpetosti pa $42,5 \times 4 = 170$ - kratno. To kaže, da pri urejanju hudournikov ni toliko pomembna debelina kamenja, kot njihova medsebojna lega in način vgrajevanja. Osvetljuje pa tudi tako imenovane sporadične porušitve - višjo silo.

Mejno zrno, ki je še v ravnovesju, znaša:

$$d = Kmw \times \frac{\gamma_m \times v_{wm}^2}{g \times (\gamma_m - \gamma_w) \times \cos \alpha}$$

γ_m - gostota telesa - kamenja v kg/m³

γ_w - gostota vode v kg/m³

v_{wm} - hitrost, ki deluje na zrno v m/sek

d - velikost zrna v m

Kmw je položajni faktor, ki se s pogreznitvijo zrna spreminja od

- 1,13 za robno - privzdignjeno mejno zrno,
- 1,00 za prostoležeče mejno zrno,
- 0,51 za ploskovno - med sosednja zrna polovično pogreznjeno zrno
- 0,03 za povsem pogreznjeno zrno.

Iz tega izhaja, da arhitektura vgrajevanja kamna ni v tolikšni meri oblikovna kot stabilnostna kategorija (PINTAR 1989).

Grobo je pri skalnem materialu običajnih dimenzij (do 1 m³ velikosti) možno izvajati le masivno skalometno zavarovanje, kjer pa je poraba materiala 5 - 10 kratna v primerjavi s tisto ob izgradnji kamnitih zložb, hkrati pa zahteva bistveno povečanje površine zemljišča, ki ga zavzema zavarovanje.

Takšno grobo zavarovanje lahko zaradi svoje masivnosti kljub poškodovanjem določenih segmentov ohrani svojo funkcijo daljše obdobje.

Tanjši grobi kamnometi ali kamnite zložbe s stabilnostnega vidika niso primerni. Problem zagotovitve medprostorov kot skrivališč za različne živalske vrste, zlasti ribe, je možno zagotoviti na drugačen način. Odprtine v kamniti zložbi naj bodo oblikovane tako, da segajo v brežino, hkrati pa ostajajo kamni iz obrežnega zavarovanja pogreznjeni tako, da se njihova protivodno usmerjena tlačna ploskev ne poveča. Za tako odprtino naj bo vgrajeno dodatno kamenje za preprečitev notranjih srkov.

Zagotavljanje skrivališč je možno zagotoviti tudi na ta način, da pred solidno zloženo kamnito zložbo, katere temelji so že na podajnem podložju, dodatno vgradimo še eno grobo zložbo kot podajno predložje. Tako zadostimo obema željama, razgibanosti in stabilnosti.

V stabilnostno primerno oblikovana zavarovanja iz kamna skušamo na različne načine vnesti avtohtono vegetacijo in tako vzpostaviti sonaravno obrežno zavarovanje v kombinaciji kamna in vegetacije. V končni obliki dobimo nove vrste vegetacijsko zgradbo, stabilnostno ojačano s kamnito zložbo. Pri vnosu vegetacije se moramo, tako kot pri čistih vegetacijskih zgradbah, zavedati, da se ta lahko uspešno zakorenini, le če so korenine v območju višin normalne srednje vode. Uporabljamo avtohtone pionirske grmovne vrste z močno regenerativno sposobnostjo, zlasti vrbe in jelše. V kamnite zložbe jih lahko vnašamo kot potaknjence, pri izgradnji obloge lahko med posamezne plasti razprostremo tanke plasti živega vrbovega šibja v obliki preproge, kombiniramo lahko kamen in živo vegetacijo. Težave pri zakoreninjenju lahko premagamo s primerno uporabo fitohormonov, ki pri vegetativnem razmnoževanju pospešujejo zakoreninjanje (STILINOVIĆ 1987).

2.3 Biotehnični ukrepi

V tem poglavju bomo prikazali ekološke kriterije pri uporabi biotehničnih ukrepov v ožjem smislu, to je pri obnovi in smotrnejši rabi zemljišč, podvrženih površinski eroziji. Biotehnični ukrepi vsebujejo biološko in tehnično zaščito pred površinsko erozijo.

Pri tako pojmovanih biotehničnih ukrepih se moramo držati štirih osnovnih načel.

Prvo načelo je, da je potrebno preprečiti površinsko odtekanje padavinske vode tako, da je omogočeno njeno prenikanje v podtalje prej, preden bi s površinskim odtokom povzročila erozijske poškodbe zemljišč;

Drugo načelo je, da je potrebno omogočiti čim enakomernejše vlaženje zemljišča na celotni površini, kot da ta ne bi bila nagnjena;

Tretje načelo je, da se površinsko odtekanje, kadar je neizogibno, razprši po celotni vesini in to s čim manjšimi hitrostmi, da bi tla lahko med odtokom čim več vode tudi vsrkala;

Četrto načelo pa je, da naj se skušajo uporabljati tisti sistemi, ki v čim večji možni meri omogočajo kmetijsko rabo tal (LUJIĆ 1973).

Ta načela so praviloma skladna s cilji sonaravnega urejanja, saj gre v bistvu za ponovno vzpostavljanje ravnovesnih razmer v kulturni krajini. Glede na napredujočo gozdnatost v Sloveniji je tudi četrto načelo s sonaravnega vidika sprejemljivo, paziti je potrebno le, da kmetijsko rabo tal pospešujemo tam, kjer to omogočajo naravne danosti.

Pri biotehničnih ukrepih, pa naj so to zidovi proti spiranju, terase, banketi, gradoni, police, konturni rovi, je s sonaravnega vidika pomembno, da celoten sistem načrtujemo tako, da ukrepe prilagodimo naravnim danostim, ne pa da se prostor, v katerega posegamo, povsem spremeni. Vsi podvzeti ukrepi okolja naj ne bi spreminjali, ampak ga le dopolnjevali, naravnemu sistemu bi povrnili narušeno ravnovesje s čim preprostejšo eliminacijo neugodnega vpliva površinskega odtekanja vode. Izvedba biotehničnih del mora biti postopna, zadostna, a ne pretirana.

Od raznih omenjenih biotehničnih ukrepov bi s sonaravnega vidika veljalo čim bolj opustiti konturne rove, razne vrste teras pa oblikovati čim bolj prilagojeno danostim v prostoru (nagib, oblikovitost terena, geomehanska stabilnost).

Nizki zidovi za preprečevanje spiranja naj bodo narejeni kot suhozidi iz avtohtonega kamnitega materiala ali pa iz lesa. Betonski zidovi niso zaželeni.

S sonaravnega vidika je zelo pomembno, da so tako kmetijske kot gozdne kulture na biotehnično tretiranih zemljiščih načrtovane tako, da:

- ustrezajo rastiščnim razmeram,
- so odporne v težkih življenjskih razmerah, oziroma proti negativnim biotičnim ali abiotičnim vplivom,
- da čim bolj meliorirajo tla.

Pri oblikovanju kultur skušamo na degradiranih tleh pomagati rastlinam z dodajanjem prsti, humusa, šote in z gnojenjem. Ukrepi z ekološkega vidika niso sporni, pri gnojenju in dognojevanju pa moramo opozoriti, da ga je potrebno izvajati na podlagi pedoloških analiz, torej dodajati tlem le tisto, kar jim manjka.

Zaščito tako gozdnih kot kmetijskih kultur naj bi izvajali z mehaničnimi ukrepi, od kemičnih sredstev pa naj bi uporabljali le tista z atestom ekološke neoporečnosti.

Iz navedene analize biotehničnih ukrepov lahko sklepamo, da so s primernim strokovnim načrtovanjem v okolju celo zaželeni, saj na dokaj enostaven in hkrati sonaraven način omogočajo ponovno vzpostavitev ravnovesnih razmer med rušilnimi silami in odpornostnimi sposobnostmi prizadetih ekosistemov.

2.4 Agrotehnični ukrepi

Protierozijski agrotehnični ukrepi usklajujejo splošne zahteve obdelovanja zemljišč s specialnimi zahtevami ukrepov proti eroziji. To je v bistvu sistem agrotehničnih ukrepov, ki uravnavajo odtekanje vode, povečujejo njeno infiltracijo in zmanjšujejo ali celo skoraj povsem izključujejo njeno erozijsko delovanje .

Protierozijski agrotehnični ukrepi so zlasti:

1. globoko oranje,
2. oranje brez obračanja,
3. oranje po plastnicah,
4. grebenasto oranje,
5. brazdanje
6. metode ozkih, dobro razmeščenih pasov,
7. navzkrižno brazdanje,
8. celična obdelava,
9. protierozijski načini setve, sadnje ali okopavanja,
10. gnojenje,
11. zaščita z nastilom,
12. protierozijska obdelava snega,
13. protierozijske menjave kultur,
14. pasovna obdelava po plastnicah.

(LUJIĆ 1973).

Vsi mehanični ukrepi, ki jih uporabljamo v protierozijski agrotehnik, z ekološkega vidika načeloma niso sporni. Vendar moramo posvetiti posebno pozornost izbiri primerne mehanizacije, ki bo prilagojena naravnim danostim v okolju. Pomembno je, da izvaja čim manjše specifične pritiske na tla in tako pomaga pri ohranjanju in izboljšanju njihove strukture. Seveda je vsak mehanizacijski agrotehnični ukrep tem bolj sonaraven, čim bolj je bil izbran glede na naravne danosti. Vsaka rešitev ima pozitivne in negativne

plati, med katerimi moramo tehtati; idealnih rešitev najbrž ni, sicer ne bi govorili o več rešitvah.

Protierozijski načini setve in sadnje so s sonaravnega vidika zaželeni ukrepi, prav tako pa tudi okopavanje. Pri gnojenju veljajo tudi tu enake ugotovitve, kot smo jih že predstavili v predhodnih poglavjih. Tlom smemo dodajati le tisto, kar jim manjka, ne pa tistega, česar imajo preveč. Stabilnosti (odpornosti proti rušilnemu delovanju vode, vetra, snega,...) in samoregulacije takega ekosistema ne smemo porušiti.

Potrebne so solidne pedološke analize, šele na podlagi njihovih rezultatov lahko gnojenje optimalno načrtujemo. Na erodiranih površinah je običajno najustreznejša kombinacija naravnih in umetnih gnojil. Zaščita z nastilom, t.i. malčiranje, praktično predstavlja organsko zaščito zemljišča pred erozijo, pretiranim izhlapevanjem in s tem povezanim osuševanjem, temperaturnim nihanjem, pleveli, omogoča pa tudi izboljšanje fizikalnih lastnosti tal in predstavlja hkrati enega od načinov naravnega gnojenja. To je izrazito sonaraven ukrep, saj so njegovi učinki, čeravno nekoliko manjši, vendar vseeno primerljivi z učinki opada na gozdnih tleh.

2.5 Družbeno-pravna regulativa

Družbeno-pravna regulativa je pomemben člen v uspešnem urejanju erozijskih območij, še zlasti kot temelj za ukrepanje na ekološki osnovi. Izhajati bi morala iz najnovejših dosežkov raziskovanj in izkušenj iz preteklosti. Namesto serije prepovedi bi morala biti usmerjanje k pravilnemu gospodarjenju v erozijsko ogroženih območjih, vključno s svetovalno službo (lahko jo opravlja tudi hudourniška nadzorna služba).

Erozijska problematika bi morala biti celovito vključena v vso prostorsko zakonodajo, kajti le tako se lahko s pravilnim načrtovanjem posegov v prostor zagotavlja najbolj ustrezna protierozijska zaščita. Pri eroziji še posebej velja, da je preventiva za družbo bistveno boljša in predvsem cenejša od kurative.

Vsako sonaravno ukrepanje temelji na pravilni analizi prostorskih danosti, kar je osnovni pogoj optimalnega gospodarjenja, še zlasti v predelih s krhkim ravnovesjem, kot so to erozijska območja.

Pri zakonodaji je zelo pomembno, da omogoča kakovostno, hitro in racionalno usklajevanje različnih interesov v prostoru. Če pa se njeno bistvo razvedeni v prostorske in upravne postopke ter dolgotrajne formalizme brez prave strokovne vsebine, ne moremo uveljaviti reda v prostoru. Posledica so številni nedomišljeni posegi, ki pri urejanju erozijskih območij pogojujejo radikalnejše, okolju ne najbolj primerne ukrepe za ponovno vzpostavitev porušenega naravnega ravnovesja.

2.6 Celovitost protierozijskih ukrepov na ekološki osnovi

Pri sonaravnem urejanju erozijskih območij je še zlasti pomembno, da se stalno zavedamo, da urejemo erozijska območja kompleksno, torej z gozdno-kulturnimi, tehničnimi, biotehničnimi, agrotehničnimi in pravno-družbenimi ukrepi. Če želimo v teh območjih gospodariti na ekološki osnovi, na naravi čim bolj prilagojen način, je potrebno celovito načrtovati vse vrste ukrepov in jih potem postopno izvajati, spremljati njihove učinke ter jih po potrebi dopoljevati.

3 SKLEPNE MISLI

Na podlagi analize protierozijskih del v Sloveniji, dognanj, objavljenih v strokovni literaturi, in lastnih spoznanj o okolju primernem urejanju erozijskih območij je možno postaviti naslednje sklepe:

- 1.) Protierozijsko razmišljanje in delovanje je potrebno vgraditi v vse faze načrtovanja v hribovitem prostoru, tako pri nastajanju "makro" kot "mikro" planov. Analiza naravnih danosti in iz tega izhajajoča ocena vplivov različnih posegov na razvoj erozijskih procesov morata biti osnova domišljenega gospodarjenja s prostorom, še zlasti v hribovitih predelih.
- 2.) Ekološki pristop urejanja erozijskih območij temelji na preventivnem ukrepanju, saniranje in restavriranje narušenih predelov pa je zgolj posledično, na z erozijskimi pojavi in procesi prizadetih območjih.
- 3.) Kulturno krajino, ki jo je človek ustvaril in preoblikoval, mora vzdrževati in obnavljati. Protierozijsko ukrepanje naj temelji na seriji drobnih, v prostoru mozaično razporejenih vzdrževalnih ukrepov, namenjenih ohranjanju ravnovesja med erozijsko stabilnostnimi in rušilnimi dejavniki v prostoru, oziroma vzdrževanju dosedanjih protierozijskih ukrepov.

- 4.) Protierozijski ukrepi naj bodo, kjer so potrebni, načrtovani in izvedeni po kriterijih, opisanih v poglavju, da se zagotovi njihova čim boljša vizuelna in funkcionalna prilagojenost okolju.
- 5.) Okolju primerno urejanje erozijskih območij zahteva gospodarja, ustrezno usposobljeno organizacijo z referencami, ki ji država poveri skrb za gospodarjenje s temi območji in jo tudi ustrezno nadzoruje.
- 6.) Načrtovalčevo delo se ne konča z oddajo načrta, potrebno je stalno okolju prilagojeno reševanje problemov med samo operativno izvedbo del ter spremljanje uspešnosti ukrepanja. Osnovo protierozijskemu ukrepanju naj bi podal idejni načrt, glavni načrt pa bi nadomestilo sprotno podrobnejše terensko projektiranje med samo izvedbo, pač v odvisnosti od pogosto naglo se spreminjajočih lokalnih naravnih razmer. Stalen nadzor in dopolnjevanje izvedenih ukrepov naj bi prispevala k čim bolj celovitim sonaravnim rešitvam.
- 7.) Okolju prilagojeno urejanje erozijskih območij zahteva tudi stalna ustrežna finančna sredstva. Njihova porazdelitev mora biti strokovna, nikakor politična. Samo nepretrgano finansiranje omogoča sonaravno ukrepanje, saj so taki ukrepi pogosto dražji (tudi kratkoročno, zaradi zahtevnejšega vzdrževanja pa tudi dolgoročno), hkrati pa manj odporni proti delovanju neurnih voda in zahtevajo nekajletno dopolnjevanje, dokler ne prevzamejo polne protierozijske funkcije.
- 8.) Sonaravno urejanje erozijskih območij zahteva red oziroma pravočasno preprečitev nedovoljenih posegov v prostor. Kurativa, žal, zahteva trše, pa tudi dražje rešitve.
- 9.) Sonaravno urejanje erozijskih območij zahteva strokovno in kadrovsko kontinuiteto. Okolje sprejema samo evolucijo, revoluciji se odločno in prepogosto boleče uspešno upira.

4 POVZETEK

Gospodarjenje s prostorom na ekološki osnovi postaja vedno bolj kompleksno. Zato je vse pomembnejša potreba, da se tudi urejanje erozijskih območij razišče glede na ekološka merila.

V pričujočem delu smo analizirali protierozijske ukrepe, ki so se uporabljali in se še uporabljajo na območju Slovenije. S temi analizami smo ugotovili učinek ukrepov s protierozijskega vidika in hkratno zadovoljevanje sodobnih ekoloških zahtev.

Glede na pričakovano intenziviranje erozijskih procesov smo postavili temelje "sodobnemu konceptu protierozijskega ukrepanja", ki obsega strokovno zasnovane in pojasnjene raznovrstne protierozijske ukrepe (gozdno-kulturne, biotehnične, agrotehnične, tehnične in družbeno-upravne), ki bodo zadovoljevali nove družbene zahteve po okolju primernem gospodarjenju v erozijsko ogroženem prostoru.

Pri sonaravnosti protierozijskega ukrepanja imamo v mislih tako vizualni (estetski) kot funkcionalni vidik, saj se stalno prepletata. Vizualni vidik (vklapljanje v prostor, primernost izbire materialov, oblikovanje različnih zavarovanj, ...) je povezan s funkcionalnim in mu hkrati tudi podrejen. Cilj funkcionalne sonaravnosti je tako načrtovanje in izvajanje protierozijskih ukrepov, da v ekosistemsko samoregulacijo posegamo le v nujnih primerih in to tako, da dolgoročno čim bolj ohranimo njihove značilnosti.

SUMMARY

Environmental management on ecological basis is becoming more and more complex, so it is also necessary to analyse antierosion measures from the ecological point of view.

In this study antierosion measures, which were and still are being used in Slovenia, are analysed. Special notice is given to their functional and ecological impacts.

The new concept of antierosion work consisting of scientifically designed and interpreted various types of antierosion measures (silvicultural, biotechnical, agrotechnical, technical and social ones) which will fulfil social

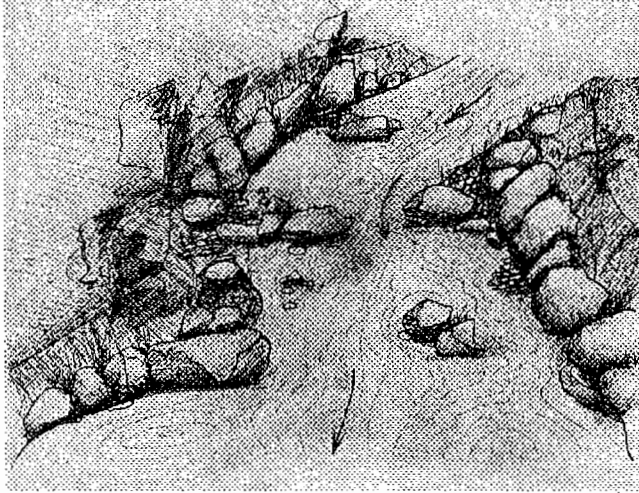
demands on environmentally adequate management in erosion areas is presented.

Environmentally adequate antierosion measures consist of visual (aestetical) and functional aspects, which can not be separated. The visual (aestetical) aspect (incorporation in environment, appropriate choice of materials, the designing of different types of antierosion measures,...) is always connected with the functional one and at the same time subordinated to it. The aim of the functional aspect of environmentally adequate antierosion measures is the planning and carrying out of antierosion measures, which allows interventions in ecosystem selfregulation only in "urgent" cases. Interventions must be designed so as to preserve ecosystem characteristics as much as possible.

VIRI

- ANKO, B., 1982. Izbrana poglavja iz krajinske ekologije (skripta). - Ljubljana, Univ. EK v Ljubljani, BF VTOZD za gozdarstvo, 299 s.
- AULITZKY, H., 1975. Wildbachkunde. - Wien, Institut fur Wildbach - und Lawinenverbauung, 433 s.
- BERTOK, M., 1989. Navodila za izdelavo vodnogospodarskih objektov s stališča ribištva. - Ribič, s. 163-204.
- HORVAT, A., 1989. Analiza primerjalnih zatravitvenih postopkov na neplodnih tleh višinskega pasu nad 1700 m nm. - Ljubljana, PUH. Rokopis.
- HORVAT, A./ZEMLIČ, M., 1991. Problematika urejanja hudourniških območij v Sloveniji. - Gradbeni vestnik, 40, 1-2, s. 3-5.
- KOŠIR, Ž., 1976. Zasnova uporabe prostora - Gozdarstvo. - Ljubljana, Zav. SRS za družbeno planiranje in IGLG BF, 145 s.
- LUJIČ, R., 1973. Šumske melioracije. - Beograd, Šumarski fakultet, 415 s.
- MLINŠEK, D., 1989. Pra-gozd v naši krajini. - Ljubljana, BF VTOZD za gozdarstvo, 157 s.
- PINTAR, J./MIKOŠ, M., 1983. Izdelava smernic in normativov z globalno usmeritvijo urejanja po ekosistemih, pojavnostih in ekološki primernosti ter načinov gospodarjenja s povirji voda. - Ljubljana, VGI, 106 s., tipkopis, polikop.
- PINTAR, J. in sod., 1989. Vzpostavljanje ravnovesja med povirji in vodotoki. - Acta hydrotechnica, 7,4, s.2-1 do 2-15.
- Poročilo o stanju okolja v SR Sloveniji, 1990. - Poročevalec SR Slovenije, Ljubljana, 16,5/I, 71 s., 5/II, 69 s.
- PUTRE, Ž., 1948. Veštačka pošumljavanja. - Beograd, Poljoprivredno izdavačko preduzeće, 157 s.
- RICKERT, K., 1990. Erfahrungen zur hydraulischen Charakterisierung von Gewässerquerschnitten. - Seminarlandschaftswasserbau an der Technischen Universität Wien. Wien, Landschaftswasserbau, Bd.10, s. 453-500.

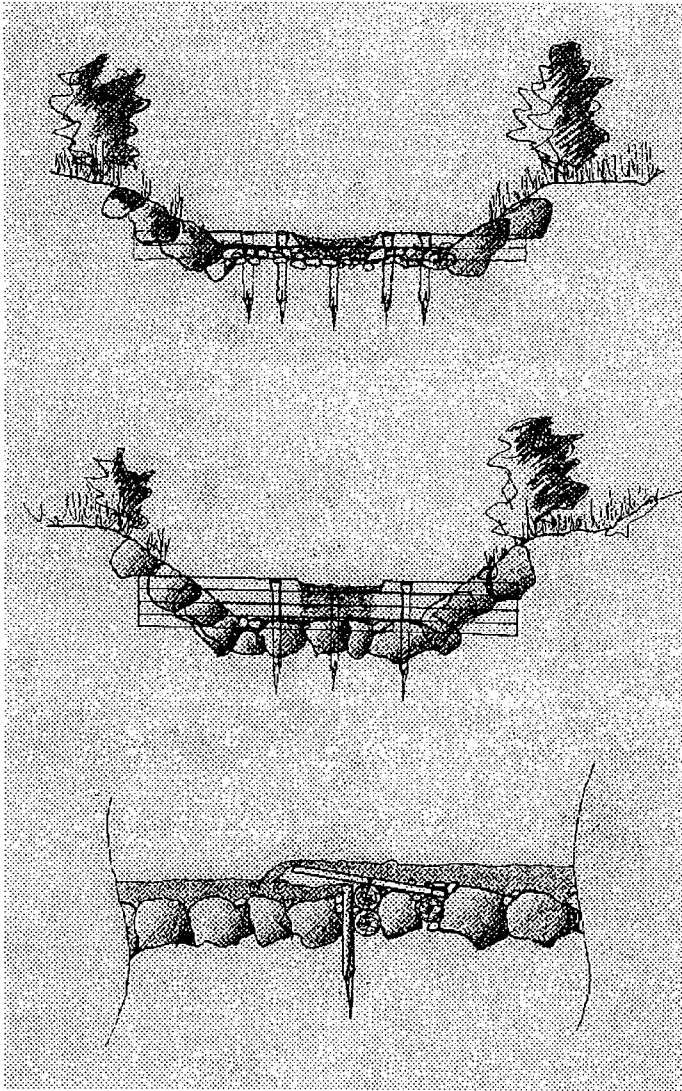
- STILINOVIĆ, S., 1987. Proizvodnja sadnog materiala šumskog i ukrasnog drveća i žbunja. - Beograd, Inst. za šumarstvo šumarskog fakulteta u Beogradu, 454 s.
- ŠTRANCAR, A., 1940. Ureditev hudournikov, njih izvor in delovanje na vodni režim. - Ljubljana, Kmetijska zbornica 38 s.
- TRATNIK, J., 1988. Novi pogledi na urejanje vodotokov s stališča ekologije. - Ljubljana, VGP Hidrotehnik 72 s.
- ZEMLIČ, M., 1979. Urejanje hudourniških območij - predavanja. - Ljubljana, GO BF zapiski, 110 polikopiranih risb, preglednic, obrazcev, grafov.



Skica št. 1: Z naravo usklajeno oblikovanje trase hudournika.

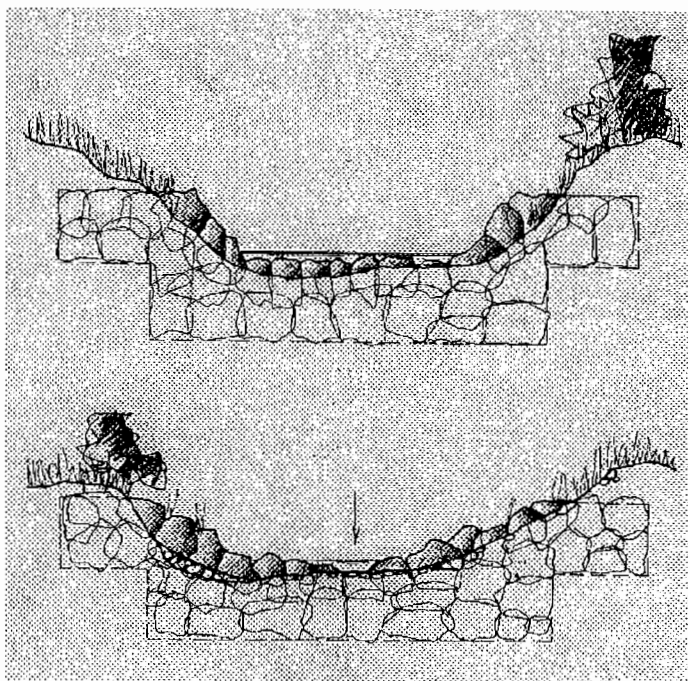
Z izogibanjem premočrtnosti, monotoniji, z oblikovanjem nesimetričnih prečnih prereзов in z uporabo deflektorjev - preusmerjevalnikov dosegamo:

- bolj naravno usmerjene trase,
- večjo globinsko in širinsko razgibanost dna struge,
- nastajanje številnejših ekoloških niš in s tem večje raznovrstnosti tako vodnih ekosistemov kot tistih, ki jih obdajajo (risal: A. Klabus 1991).

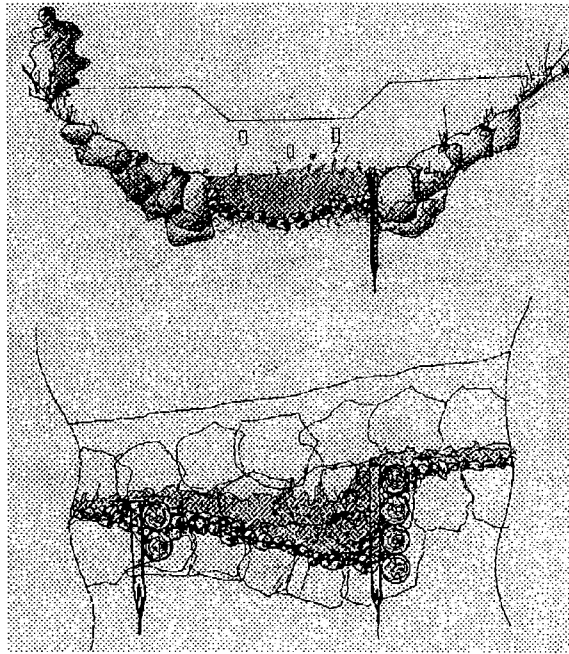


Skica št. 2: Leseni pragi s krilnimi oblicami, z in brez stopnje (zgoraj in v sredini), ter s podaljšanim prelivom (spodaj).

S prikladno oblikovanimi prelivmi lesenih pragov dosegamo koncentriranje nizkih vod, s tem za ribji življenjski ugodnejšo globino vode, hkrati pa tudi večjo trdnost praga ob visokih vodah. Krilne oblice pomagajo pri oblikovanju podslapnega tolmuna, podaljšan preliv pa spreminjanju sončnih in senčnih strani v vodi, s čemer se tvori zaželeno ekološke niše (risal: A. Klabus 1991).

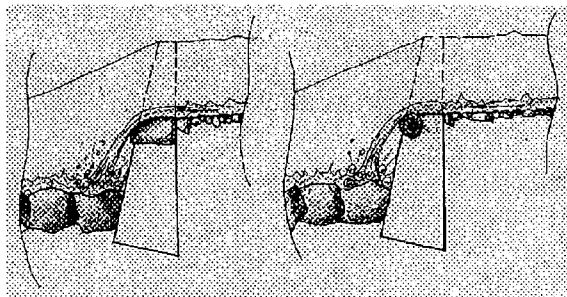


Skica št. 3: Prag brez stopnje - talni prag (v ravnini dna) iz kamnite zložbe. Oblikujemo ga tako, da vodo bodisi razpršimo (zgoraj) ali pa jo osredotočimo (spodaj). Z njim dosegamo globinsko in širinsko razgibanost dna, vplivamo ugodno na prezračevanje vode, oblikujemo številne ekološke niše. Preraščanje z rastjem je naglo, zlasti delov v in nad dosegom srednjih vod (risal: A. Klabus 1991).



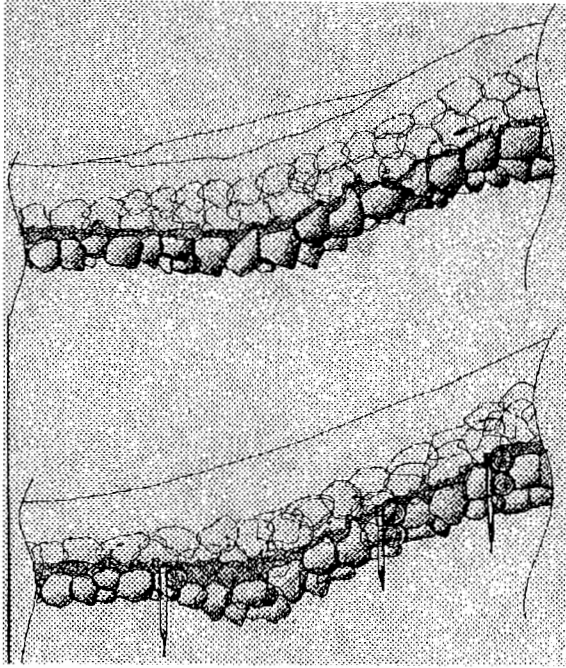
Skica št. 4: Podslapni tolmuni z naravno granulacijo naplavin po dnu.

S prikladno oblikovanimi podslapnimi tolmuni, z naravno granulacijo naplavin po dnu, dosegamo ustrezno globinsko in širinsko razgibanost vodnega toka, povečujemo vsebnost kisika v njem, tvorba ekoloških niš je raznovrstna (risal: A. Klabus 1991).



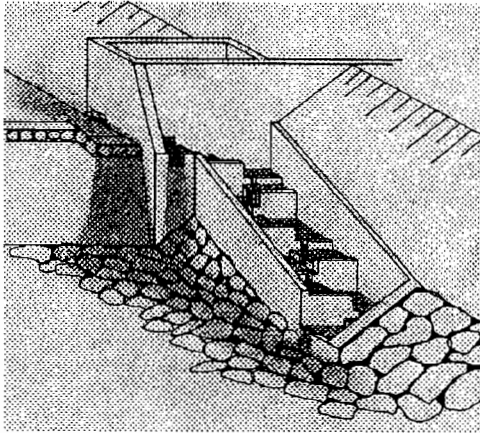
Skica št. 5: Pragi z zaobljenim prelivom.

V naravnem hudourniku ni ostrih robov. Zato prilagajamo dolvodne robove prelivov na pragih in pregradah tako, da jih izvedemo iz zaobljenih kamnov ali iz lesenih oblic (risal: A. Klabus 1991).

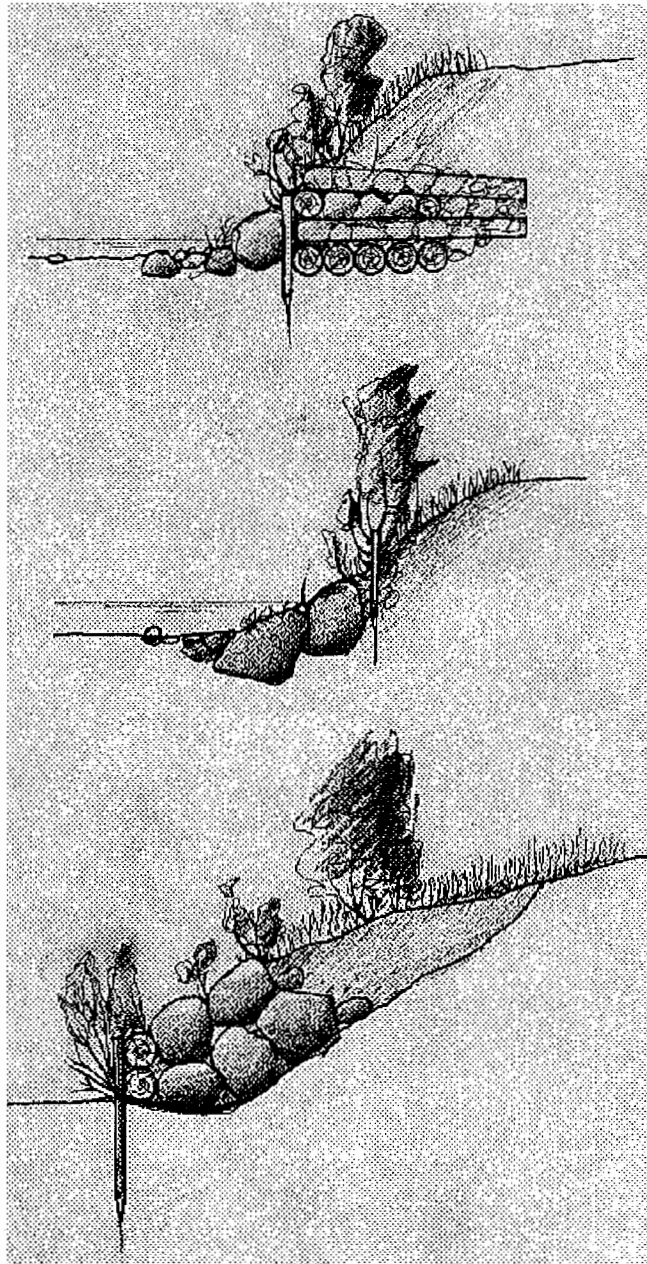


Skica št. 6: Pragi v obliki skalne zložbe - drče.

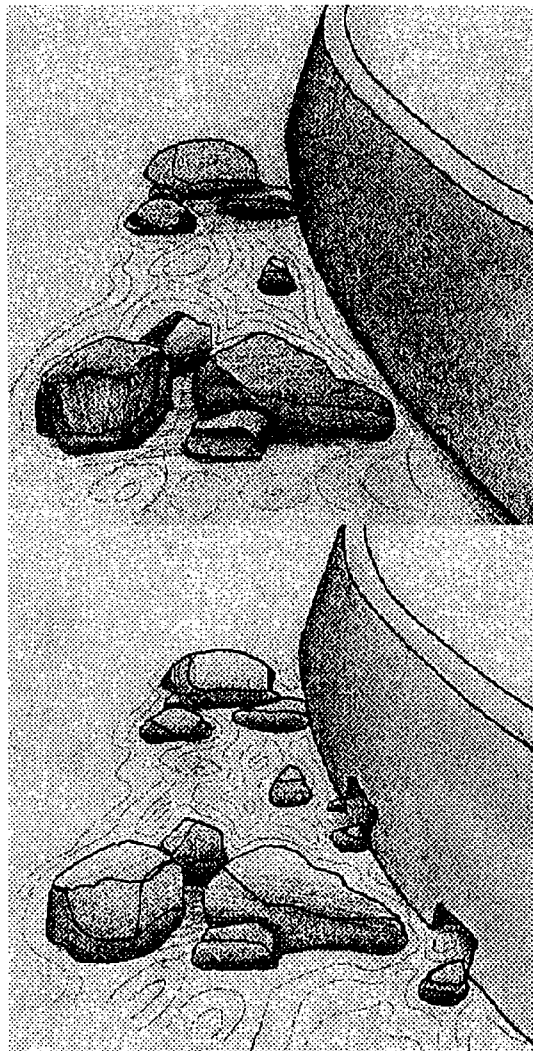
Drče so oblikovane iz skal, zloženih v suho (zgoraj) ali pa utrjenih z lesenimi prečnimi oblicami in piloti ali močnimi koli (spodaj). Z njimi omogočamo migracije ribjega življa, povečujemo globinsko in širinsko razgibanost dna ter vsebnost kisika, ob hkratnem ustaljevanju struge (risal: A. Klabus 1991).



Skica št. 7: Ribja steza (risal: A. Zajc 1991).

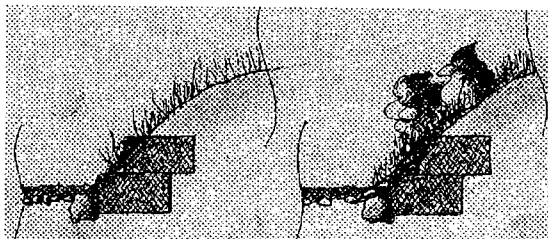


Skica št. 8: Koristno kombiniranje različnih gradiv z rastlinjem omogoča hitrejšo obnovo tako vodnih ekosistemov kot tistih, ki jih obdajajo (risal: A. Klabus 1991).



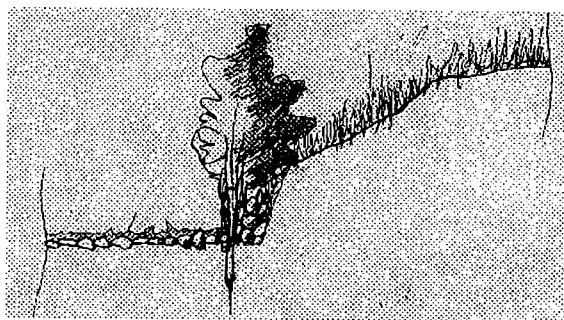
Skica št. 9: Obrežni zid z deflektorji - preusmerjevalniki (zgoraj) in še dodatno s skrivališči za ribe (spodaj).

Z deflektorji dosegamo globinsko in širinsko razgibanost vodnega toka in oblikujemo tako ekološke niše, prikladne za nekatere vrste; ribja skrivališča omogočajo tako deflektorji kot ustrezno oblikovane odprtine v zidu (risal: A. Klabus 1991).



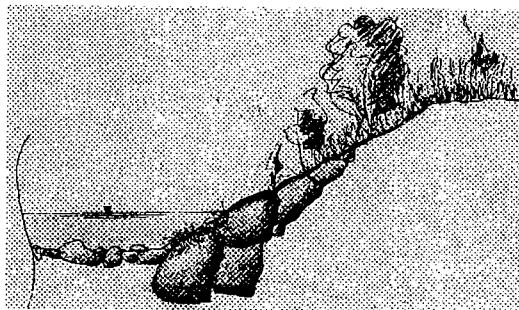
Skica št. 10: Vzdržne gradnje iz žičnih košar z vnešenim rastlinjem.

Vnašanje rastlinja v gradnje iz žičnih košar omogoča hitrejšo obnovo vodnega in obvodnega rastja, s tem pa tudi celotnih ekosistemov (risal: A. Klabus 1991).



Skica št. 11: Vzdržno zavarovanje s popleti.

Uporaba vegetacijskih gradenj je zaželena na vseh primernih krajih, ker najhitreje in trajno zagotavljajo pestrost tako v vodnem ekosistemu kot v tistem, ki ga obdaja (risal: A. Klabus 1991).



Skica št. 12: Obrežno zavarovanje iz kamna in rastlinskega gradiva po oblikovanju biocenoze.

Kombinacija gradiv ustreza zahtevam glede trdnosti in čim hitrejšega oblikovanja vodnega in obvodnega rastja in živalskega sveta (risal: A. Klabus 1991).

