

VARSTVO PROMETNIC PRED PADAJOČIM KAMENJEM S SISTEMOM GLOBOKO SIDRANIH JEKLENIH MREŽ VISOKIH NATEZNIH TRDNOSTI

Protection of traffic routes from falling rocks with a system of deeply anchored nets of high stretch strength

Aleš Horvat*, Jože Papež**, Janko Černivec*** UDK 625.7:627.41

Povzetek Abstract

Živiljenjski prostor postaja vedno dragocenejši, zato trase prometnic vedno pogosteje potekajo po terenih, ki so z vidika varovanja prometa pred padajočim kamenjem bistveno zahtevnejši. Zaradi čedalje neugodnejših vremenskih razmer, je precej bolj intenzivna tudi erozija na brežinah obstoječih prometnic. Za vzdrževalce cest je varovanje pred padajočim kamenjem zelo težavno, še posebej, ker morajo poleg varnosti prometa upoštevati tudi vedno večje in glasnejše ekološke zahteve.

V razvitem svetu, in v zadnjem času tudi pri nas, se zato vse bolj uveljavlja varovanje brežin pred krušenjem kamenja in skal s sistemom globoko sidranih mrež visoke natezne trdnosti, ki zagotavljajo učinkovito varovanje brežin in hkrati omogočajo ozelenitev tudi zelo strmih brežin. V Sloveniji je bil sistem uporabljen na brežinah Polica in Mali vrh nad avtocesto Malence – Višnja gora. V obeh primerih se je izkazal za zelo uspešnega.

Living space is becoming increasingly valuable, so traffic routes ever more often run through terrains which are essentially more demanding from the point of view of protecting traffic from falling rocks. Because of increasingly frequent inclement weather conditions, erosion on the banks of existing traffic routes is also considerably more intensive. Protection from falling rocks is a major problem for road maintenance, especially because this must satisfy ever greater and far more decisive ecological demands, in addition to traffic safety. In the developed world, and recently in Slovenia, too, protecting banks from crumbling rocks and stones with a system of deeply anchored nets of high stretch strength has therefore been increasingly used. They ensure effective protection of the banks and, at the same time, enable greenery to grow on even very steep banks. In Slovenia, the system has been used on the banks of Polica and Mali vrh above the Malence – Višnja gora motorway. It has been very successful in both cases.

Uvod

Porušitve kamenja in skalnih grot pogosto ogrožajo varnost prometa na cestah in železniških progah, zato je zelo pomembno njihovo primerno načrtovanje in varovanje. Način zaščite prometnic pred padajočim

kamenjem je odvisen predvsem od obsega ogroženosti. Pri ogroženosti s kamninskimi podori večjih razsežnosti je smotrno razmisliti o morebitni prestavitvi prometnice in če to ni možno, jo je treba dodatno zaščititi s primerno galerijo. Pri manjših porušitvah je način primarnega in sekundarnega varovanja odvisen zlasti od velikosti in mesta porušitve glede na prometnico, od tehničnih možnosti in ekološke primernosti varovalnih ukrepov. Običajno se uporabljajo viseče ali sidrane varovalne mreže različnih velikosti in raznovrstne toge in podajne lovilne ograje. Številni tuji in v zadnjih letih tudi domači primeri potrjujejo, da je možno tudi najzahtevnejše primarne in sekundarne varovalne ukrepe izvesti na okolju prijazen način.

* Doc. dr., Podjetje za urejanje hudournikov, d. d., Hajdrihova 28, Ljubljana, ales.horvat@puh.si

** Podjetje za urejanje hudournikov, d. d., Hajdrihova 28, Ljubljana, joze.papez@puh.si

*** Podjetje za urejanje hudournikov, d. d., Hajdrihova 28, Ljubljana



Slika 1. Dolenjska avtocesta – skalni okruški na dolenski avtocesti so se skotalili z brežine, ki je bila preko 20 let neproblematična in zato nezavarovana.

Figure 1. Dolenjska motorway – rocky rubble on the Dolenjska motorway has come from the banks, which were unproblematic 20 years ago and therefore unprotected.

Ogroženost pred padajočim kamenjem na slovenskih prometnicah

Padajoče kamenje lahko na prometnicah povzroči nesrečo bodisi zaradi naleta vozil na kamenje na cestišču, bodisi zaradi neposrednih udarcev kamenja v vozila oziroma v udeležence v prometu. Po rezultatih dosedanjih preučevanj (Angerer, 1995) je kamenje na cesti precej pogostejši vzrok nesreč od neposrednih udarcev.

Po podatkih DRSC je konec leta 2003 skupna dolžina državnih cest znašala 6215 km. Od tega je po podatkih Podjetja za urejanje hudournikov (v nadaljevanju PUH) dolžina ogroženih državnih cest zaradi padajočega kamenja znašala 175 kilometrov, kar pomeni okoli 2,8 % skupne dolžine državnih cest Slovenije.

PUH je leta 2001 po naročilu DARS izdelal študijo »Ogroženost avtocest Slovenije s porušitveno erozijo«, v okviru katere so bile popisane in analizirane najbolj ogrožene lokacije, ki so jih s posebnimi popisnimi obrazci evidentirala Podjetja za vzdrževanje avtocest. Med ogroženimi lokacijami so poleg nezavarovanih evidentirali tudi tiste zavarovane brežine, na katerih je bila varovalna vloga zaščitnih objektov iz različnih vzrokov ocenjena kot vprašljiva. Pri tem so mišljeni razprtje mrež zaradi pritiska zadržanih preperin, prerjavenje mrež, popustitve sider zaradi prerjavenja ali erozijskega spiranja oz. razpadanja površja brežine itd.

V študiji so bili za vsako lokacijo predlagani ukrepi glede na ugotovljeno vrsto in obseg problematike, zlasti z vidika

visoke varnosti in maksimalne trajnosti uporabljenih sistemov in delov zavarovanj. Pri pripravi prednostnega seznama potrebnih varovalnih ukrepov in sestavi okvirne ocene stroškov za izvedbo zavarovanj je bilo analiziranih 108 brežin v skupni dolžini več kakor 19,2 km. Analiziranih je bilo preko 108 ogroženih brežin v dolžini več kakor 19,2 km od celotnih 456,9 km avtocest in hitrih cest.

Študija je nedvomno dosegla svoj namen, saj je DARS začel s sistematičnim in stalnim reševanjem te problematike. Tako je bilo v zadnjih letih na obstoječih avtocestah že saniranih nekaj najbolj problematičnih brežin s prednostnega seznama, za nekatere pa poteka priprava projektne in tehnične dokumentacije.

Ukrep varovanja z uporabo mrež visokih nateznih trdnosti

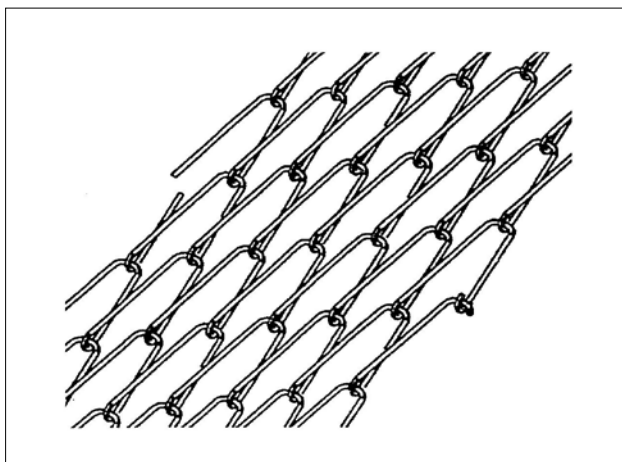
Pri poružitvah manjših razsežnosti je način varovanja odvisen zlasti od velikosti in mesta poružitve glede na prometnico ter tehničnih možnosti in ekološke primernosti varovalnih ukrepov. Najbolj razširjena so zavarovanja z običajnimi žičnimi pletivi. Pri tem načinu zavarovanja je prenos napetosti prek žičnega pletiva omejen z njihovo natezno trdnostjo in predvsem z možnostjo prenosa sil na točke sidranja, zato so ti sistemi obravnavani zgolj kot površinska zavarovanja.

Sodobna tehnologija omogoča izdelavo diagonalnih mrež iz trdnih jeklenih žic, ki so glede natezne trdnosti primerljive z zmogljivostmi jeklenih pletenih vrvi. Pri obnovi narušenih brežin se v svetu uveljavlja uporaba globoko sidranih jeklenih mrež visokih nateznih trdnosti. Te mreže učinkovito nadomeščajo dražje in okolju manj prijazne rešitve, kakor so na primer betonski obložni zidovi, ter hkrati omogočajo ureditev zelo strmih brežin. Zaradi njenih lastnosti varovanja brežine in možnosti njene ozelenitve se te mreže v zadnjem času zelo uspešno uvajajo tudi pri nas. Z njimi sta bili uspešno zavarovani brežini Polica in Mali vrh nad avtocestnim odsekom Malence – Šmarje Sap – Višnja gora.

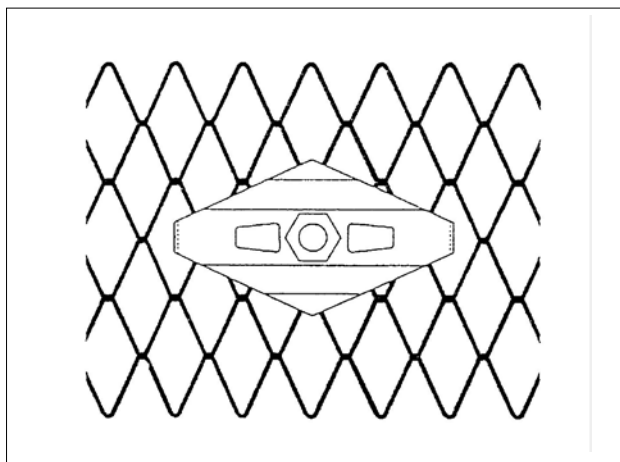
Sistem globoko sidranih mrež visoke natezne trdnosti

Jedro sistema predstavlja diagonalno pletena mreža iz izjemno trdih jeklenih žic. Žica je tako trda, da jo tudi najostrejši skalni robovi ne morejo poškodovati in hkrati dovolj prožna, da zdrži izjemne mehanske obremenitve. Žica ima take lastnosti zaradi kakovostne strukture jekla, ki jo dosežejo z natančno nadzorovanim postopkom segrevanja in večstopenjskim postopkom vlečenja žice. Mreža iz jeklene žice ima natezno trdnost primerljivo z zmogljivostmi jeklenih pletenih vrvi, a je hkrati precej lažja in cenejša.

Vsi sestavni deli so protikorozijsko zelo dobro zaščiteni,



Slika 2. Mreža
Figure 2. Net



Slika 3. Sidrna plošča
Figure 3. Anchorage plate

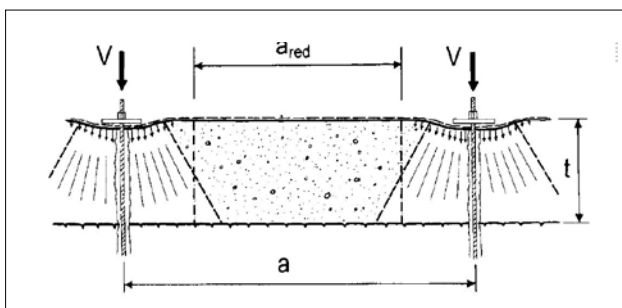
tako da je pričakovana trajnost sistema nad 50 let in praktično ne potrebuje vzdrževanja.

Zelo pomemben del sistema je primerno oblikovana in dimenzionirana sidrna plošča, s katero mrežo napnemo na površino s prednapetostjo od 20 kN do 80 kN, s čemer dosežemo aktivno zaščito brežine. S tem se bistveno zmanjša možnost deformacij v površinskem sloju narušene brežine, ki lahko sicer preko nastalih razpok sprožijo nadaljnja drsenja in premikanja posameznih delov po pobočju navzdol.

Za sidranja se uporablja pasivna sidra različnih vrst, velikosti in v različnem rastru, v skladu z značilnostmi talne podlage in izračuni simulacije napetosti v načrtovanem sistemu.

Posebnost sistema aktivne zaščite

Pritisk, ki zaradi prednapenjanja pletiva deluje na brežino, bistveno zmanjšuje možnost nastanka deformacij, ki so skoraj vedno v povezavi z nadaljnjim rahljanjem površinskega sloja in zmanjševanjem strižnih napetosti. Gosto pletena plastična protierozijska mreža, nameščena neposredno na površje brežine oz. neposredno pod jekleno mrežo, ima funkcijo zadrževanja finih frakcij erozijskega drobirja. Pomeni tudi potrebno ogrodje za nanašanje rastnega materiala oz. rastne pulpe.



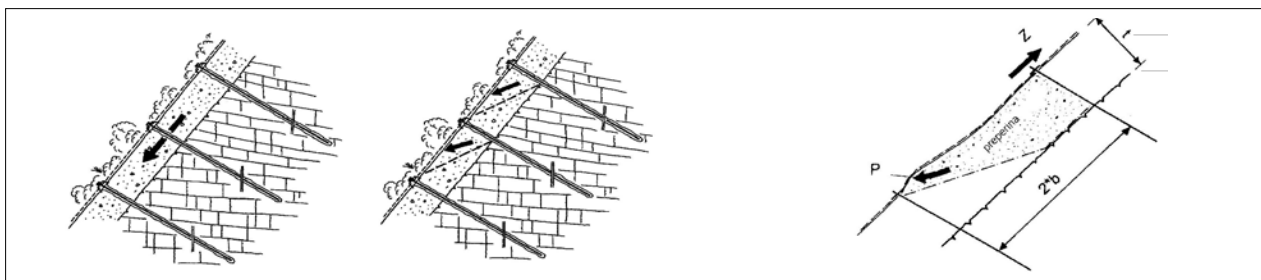
Slika 4. Raster sidranja in prikaz prenašanje napetosti v sistem zaščite - aktivna zaščita (sila $V = 50\text{kN}$)

Figure 4. Raster anchoring and presentation of transferred tension in the system of protection - active protection (force $V = 50\text{kN}$)

Dimenzioniranje sistema

Na dimenzioniranje bistveno vplivajo naslednji pogoji: višina in dolžina brežine, razmere nad in pod brežino, nagib brežine, debelina preperinskega sloja na brežini, vrsta kamnine in značilnosti materiala na brežini.

Za dimenzioniranje sistema se uporablja poseben računalniški program, ki omogoča določanje sil, ki delujejo



Sliki 5 in 6. Generalne in lokalne napetosti v sistemu zaščite
Figures 5 and 6. General and local tensions in the system of protection

na varovalni sistem. Na podlagi geoloških raziskav in analize dejavnikov, ki vplivajo na porušitvene sile, program določi globino sidranja in optimalne horizontalne in vertikalne razmike med posameznimi sidri. Poleg naklona brežine, sestave tal in debeline preperinskega sloja model upošteva tudi možne lokalne in globalne porušitvene mase v zgornji površinski hribinski plasti.

Glavni problemi pred izvedbo sanacijskih del so bili:

- potencialna ogroženost varnosti prometa,
- preveliki nagibi brežin glede na zgradbo in morfologijo terena,
- erozija na neporaščenih površinah,
- neurejeno odvodnjavanje,
- estetsko in ekološko poslabšanje prostora.

Erozija na avtocestnih brežinah Polica in Mali vrh

V inženirsko-geološkem poročilu iz let 1997 in 2001 je bil za obe lokaciji za vsak posamezni profil podan kritični kot, velikosti kritičnih blokov in stabilni naklon brežine. Leta 2004 so bile narejene dodatne terenske raziskave in meritve, laboratorijske preiskave ter za obe lokaciji in dodatno za brežino Polica 6L še stabilnostne in geostatične analize. Izdelane so bile inženirsko-geološke karte brežin in geotehnične analize kritičnih profilov.

Posledica intenzivne erozije so bili več metrov globoki erozijski jarki. Erozija je že toliko napredovala, da je obstajala nevarnost porušitve večjih skalnih blokov in gmot na avtocesto.

Zaradi preskromnih rastnih razmer zaraščanje brežine ni bilo uspešno. Poleg tega je bila brežina tudi krajinsko neustrezno oblikovana.

Brežina Polica 7L

Strma vkopna brežina Polica 7L (nagib 60° in višina 20 m) na območju hribovja Polica na odseku AC Šmarje Sap – Višnja gora v smeri proti Ljubljani je zaradi geološke zgradbe (svetlo siv, tektonsko pretrt dolomit) zelo občutljiva na različne vrste preperevanja. Težave zaradi zelo strmih in visokih brežin so znane že iz časa gradnje, leta 1989. Brežine so bile oblikovane le z eno vmesno 3,0 m široko bermo, ki jih je višinsko razdelila na dva dela. Enake razmere so bile na severnih brežinah vkopov 1L, 2L, 3L, 4L in 5L, ki so bile v letu 2000 sanirane z ublažitvijo, položitvijo žičnega pletiva in ozelenjene z biotehničnimi ukrepi.

Brežina Mali vrh

Strma in visoka (nagib 60°–70° in višina 25 m) desna vkopna brežina Mali Vrh na avtocesti Malence – Mali Vrh je bila prvotno zaščitena z metodo protierozijske zaščite Biotec. Izvedena zaščita se je izkazala za neprimerno, saj se je erozija nadaljevala kljub nekajkratnemu dopolnjevanju in obnovi poškodovanih predelov na brežini, zlasti v njenem strmejšem spodnjem delu. Izvedena zaščita ni uspela upočasniti površinskega preperevanja in spiranja erozijskega drobirja z dolomitne brežine, ki se je posledično v velikih količinah zbiral v njenem vznožju. Intenzivno napredovanje vzratne erozije je privedlo do postopnega ustvarjanja erozijskih jarkov in previsov in je močno povečalo ogroženost udeležencev v prometu.

Rastlinje se je v žepih humusa na mreži ponekod dobro razvilo, vendar se ni prijelo s podlago, ampak se je pod njo proces preperevanja in odnašanja preperin neovirano



Slike 7, 8 in 9.

Mali vrh – neustrezna zaščita z metodo biotec – velika prometna ogroženost

Figures 7, 8 and 9.

Mali vrh – inadequate protection with the Biotec method – major traffic hazard



Slike 10, 11 in 12. Polica 7L – stanje pred ukrepanjem – velika prometna ogroženost
 Figures 10, 11 and 12. Polica 7L – situation before measures – major traffic hazard

nadaljeval. Rastlinje tako ni opravilo svoje naloge, ampak je s svojo težo dodatno pritiskalo na že tako tanko, korodirano in plitvo sidrano mrežo. Obstajala je velika nevarnost nastanka večjega zdrsa preperinske plasti, zato je bilo treba brežino sanirati.

Na desnem delu brežine, zaščitenem zgolj z visečimi varovalnimi mrežami, so kot posledica močne erozije nastali globoki erozijski jarki. Erozija je že toliko napredovala, da je obstajala tudi nevarnost porušitve skalnih blokov in večjih gmot. Kljub lovilnemu prostoru med vznožjem brežine in New Jersey varovalnimi ograjami, bi ob morebitni večji zrušitvi z večje višine lahko priletelo kamenje tudi na vozišče.

Ukrepi na avtocestnih brežinah Polica in Mali vrh

Na obravnavanih odsekih je bilo treba z zaščito pred

krušenjem kamenja in skal ter odplavljanjem preperin zagotoviti ustrezno prometno varnost.

Na podlagi inženirsko-geološkega kartiranja, presoje trdnosti in klasifikacije hribinske mase se je investitor odločil za:

- ureditev odvodnjavanja na zgornjem robu brežine (Polica 7L);
- oporo in oblogo spodnjega dela brežine z rustikalno zidanim kamnitim zidom z zalednimi sidri in drenažo (Mali vrh);
- oporo in oblogo vznožja brežine z rustikalno zidanim kamnitim zidom z drenažo (Polica 7L);
- prekritje brežine s sistemom za aktivno učvrstitev in protierozijsko zaščito, z globoko sidrano posebno jekleno žično mrežo natezne trdnosti min. 150 kN/m' in visoke natezne trdnosti žice min. 1770N/mm², ki je na sidriščih preko posebnih pritrditvenih plošč s silo od 30 do 50 kN pritisnjena na podlago (globina pasivnih sider od 3,5–7 m) (Polica in Mali vrh) in



Sliki 13 in 14. Mali vrh – stanje pred izvedbo in po izvedbi ukrepov leta 2005
 Figures 13 and 14. Mali vrh – situation before and after implementation of measures in 2005



Sliki 15 in 16. Polica 7L – stanje pred izvedbo in po izvedbi ukrepov leta 2005
 Figures 15 and 16. Polica 7L – situation before and after implementation of measures in 2005

- zatravitev z metodo prebrizga z rastno pulpo in zasaditev s potaknjenci in sadikami pionirskih grmovnih vrst (Polica in Mali vrh).

Premišljenost pristopa se kaže v kombiniranju različnih tehnik zavarovanj glede na dejanske razmere na brežini. V konkretnem primeru je bila uporabljena kombinacija okolju prijazne podzidave previsov z rustikalno zidanim kamnitim zidom in prekritje zgornjega dela brežine s sistemom globoko sidranih jeklenih mrež za aktivno učvrstitev in protierozijsko zaščito. Ta sistem je obstoječi preperinski sloj skupaj z obstoječo razpadajočo mrežo utrdil in pritisnil na podlago. Na ta način je omejeno nadaljnje erozijsko vzvratno spodkopavanje površja brežine in zmanjšana grožnja porušitve večjih razsežnosti. Prav tako je nadzorovano nadaljnje spiranje in erozijsko poglobljanje površja izpod obstoječih mrež.

Sklepne misli

Pri manjših porušitvah je način varovanja odvisen zlasti od velikosti in mesta porušitve glede na prometnico ter od tehničnih možnosti in ekološke primernosti varovalnih ukrepov. Pri obnovi narušenih brežin se tako v svetu kakor pri nas uveljavlja uporaba globoko sidranih jeklenih mrež visokih nateznih trdnosti, ki enakovredno nadomeščajo dražje in okolju manj prijazne rešitve, kakršni so npr. betonski obložni zidovi. V kombinaciji z zatravitvijo in zasaditvijo je možno obnovljeno brežino kakovostno ozeleniti, kar kažejo primeri uspešno izvedenih del na brežinah Polica in Mali vrh na avtocesti Malence – Šmarje Sap – Višnja gora.

Ob številnih načinih sodobnega varovanja objektov in prometnic pred porušitvami skalnih gmot ne smemo pozabiti, da je varnost objektov in prometa odvisna zlasti od lokacije oz. poteka trase prometnice in od primerne rastlinske zaščite pobočij nad njo. Tehnične ukrepe bi smeli uporabiti le na ožjih ogroženih območjih, ki se jim trasa iz utemeljenih razlogov ni mogla izogniti.

Viri in literatura

1. Angerer et. all, 1995. Steinschlagschutz - Steinschlagschutznetze,- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Geol. Stelle. der WLV, Wien, 32 s.
2. Arhiv Podjetja za urejanje hudournikov, Ljubljana.
3. Horvat, A. in sod., 2001. Ogroženost AC Slovenije s porušitveno erozijo. Študijska naloga, št.proj. IV-09-132/2000, DARS, Ljubljana, 81 s., 18 k.
4. Horvat, A., 1995. Utrjevanje pobočij z rastlinsko odejo. V: Zbornik "Obnova vegetacije ob daljinskih cestah", Ljubljana, s. 60–73.
5. Marušič, J., Horvat, A., Šiftar, A., ... 1997. Inženirskobiološki in krajinskotehnični vidiki urejanja obcestne krajine. Urejanje obcestne krajine, Priročnik, MOP URSP, 1997, s. 45–66.
6. PUH, 1994. Pogubna razigranost – 110 let organiziranega hudourničarstva na Slovenskem PUH 1884 – 1994, Ljubljana.
7. TECCO, Slope Stabilization System, System Manual, Geobrugg, Junij 2004, Romanshorn.