

Sodobni načini varstva pred porušitveno erozijo

Modern Protection Against Rockfall Erosion

Marijan ZEMLJIČ*, Aleš HORVAT**

Izvleček:

Zemljič, M., Horvat, A.: Sodobni načini varstva pred porušitveno erozijo. Gozdarski vestnik, št. 4/1999. V slovenščini, cit. lit. 10. Prevod v angleščino: Aleš Horvat.

Porušitve skalnih gmot pogosto ogrožajo varnost objektov in promet na cestah in železniških progah, zato je zelo pomembno primerno načrtovanje in varovanje le-teh. Principi zaščite prometnic pred padajočim kamenjem so odvisni od obsega ogroženosti. Pri ogroženosti s kamninskimi podori večjih razsežnosti je smotrno razmišljati o morebitni deviaciji prometnice ali pa jo je praviloma potrebno sekundarno zaščititi s primerno oblikovano galerijo. Pri porušitvah manjših razsežnosti je način sekundarnega varovanja odvisen zlasti od velikosti in lokacije porušitve glede na prometnico ter od tehničnih možnosti in ekološke primernosti varovalnih ukrepov. V poštev pride zlasti uporaba visečih varovalnih mrež različnih dimenzij ter raznovrstnih togih in podajnih lovilnih ograj. Omenjene ukrepe je možno primerno vklopiti v okolje, kar nam kažejo primeri uspešno izvedenih del v Sloveniji. Varovalne ukrepe pred padajočim kamenjem je možno kombinirati z ukrepi za zaščito pred snežnimi plazovi.

Ključne besede: porušitvena erozija, sekundarni varstveni ukrep, varovalna mreža, lovilna ograja.

Abstract:

Zemljič, M., Horvat, A.: Modern Protection Against Rockfall Erosion. Gozdarski vestnik, No. 4/1999. In Slovene, lit. quot. 10. Translated into English by Aleš Horvat.

Rockfalls often endanger safety of buildings, road and railway traffic. Proper design and protection of buildings and traffic lines are therefore very important. The principles of protection against rockfall depend on the degree of rockfall hazard. It is often suitable to design a road deviation or to ensure proper secondary protection with adequately designed road gallery, when dealing with rockfalls of great dimensions. The secondary protection technique depends on the size and location of the rockfall, and on the technical possibilities, and ecological suitability of rockfall protective measures, with rockfalls of medium dimensions. Slopes are covered with normal or reinforced protection hexagonal meshes, and various rigid and flexible rockfall protection barriers are also used. It is possible to incorporate rockfall protective measures well into the environment as seen from successfully executed works in Slovenia. Rockfall protective measures can be combined with those of snow avalanches.

Key words: rockfall erosion, secondary protective measure, rockfall protection mesh, rockfall protection barrier.

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Kamniti zruški, zlasti pa skalni podori in podori hriba so v Sloveniji bolj ali manj tipični za alpski svet, zgrajen iz karbonatnih sedimentov, ob čemer pa se pogosteje pojavljajo v morfološko izpostavljenih, tektonsko prizadetih in seizmično aktivnejših območjih. V sredogorju je intenzivnost nastopanja porušitvene erozije zaradi ugodnejših naravnih danosti manjša, vendar se vseeno pogosto srečujemo s problematiko kamnitih in skalnih zruškov, predvsem zaradi ogrožanja prometnic in manj zaradi ogrožanja različnih stanovanjskih in gospodarskih objektov.

2 OPREDELITEV POJAVA

2 DETERMINATION OF THE PHENOMENA

Pojem "padajoče kamenje" zajema strogo vzeto celoten pojav nekega skalnega, kamnitnega ali gruščnatega zrušenja, od sprostitve do odložitve.

Po Redlich-Terzaghi-Kampeju je vzrok padajočega kamenja (kot pri vseh talnih premikih) bodisi v neki spremembi razmerja sil (obremenitvena ali hidrostatična razmerja) pri nespremenjenem razmerju odporov (strukturna,

* M. Z., univ. dipl. inž. gozd., Podjetje za urejanje hudournikov d. d., Hajdrihova 28, 1001 Ljubljana, SLO

** Mag. A. H., univ. dipl. inž. gozd., Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Večna pot 83, 1000 Ljubljana, SLO; Podjetje za urejanje hudournikov d. d., Hajdrihova 28, 1001 Ljubljana, SLO

torna in kohezijska razmerja) bodisi v spremembi razmerja odporov pri nespremenjeni igri delujočih sil.

Učinkujoči dejavniki:

Spremembe v razmerju sil zaradi:

- neotektonike ali postglacialnih sproščanj
- mehanskih sprememb napetosti zaradi porušitvenih dogodkov
- sprememb napetosti zaradi procesov plazenja
- temperaturnih nihanj
- potresov
- hidrostatičnih in hidrodinamičnih tlakov ter potiskov vode v razpokah
- obremenitev in sprememb obremenitev (statičnih in dinamičnih) po drevesnih sestojih
- zaledenitev
- antropogenih sprememb zaradi zasekov in obremenitev

Spremembe v razmerju odporov zaradi:

- preperevanja
 - mehansko-fizikalnega
 - kemično-mineraloškega
 - biološko-biokemičnega

Oboje razmerij je v soodvisnosti od:

- geometrije površja
- zgradbe ločilnih ploskev, in sicer:
 - prostorske razporeditve
 - razsežnosti razpok
 - gostote razpok
 - oblike razpok

Vsi različni vključeni vzroki in tudi vsi možni povodi so medsebojno tako prepleteni, da bi poizkus neke splošne klasifikacije padajočega kamenja predstavljal pravo nasilno dejanje. Temelji pojava padajočega kamenja z različnimi vzroki nastajanja in sprožili ležijo v mrežnem sistemu podtalja, tal, rastlinske odeje in atmosferilij. Nenehne spremembe v sistemu lahko bodisi povečujejo ali zmanjšujejo verjetnost sproženja.

Navedene prostornine ustrezajo posameznim zrnom razbitin oz. skupni prostornini.

Preglednica 1: Definicije porušitev skalnih gmot (POISEL 1997)

Table 1: Definition of the rockfall (POISEL 1997)

Padanje kamenja <i>Stone fall</i>	0,01 m ³	(ustreza ca. 20 cm-ski dolžini roba) (equivalent of aprox. 20 cm of edge length)
	0,1 m ³	(ustreza ca. 50 cm-ski dolžini roba) (equivalent of aprox. 50 cm of edge length)
Padanje skal <i>Rock fall</i>	2 m ³	(ustreza ca. 150 cm-ski dolžini roba) (equivalent of aprox. 150 cm of edge length)
Skalni podor <i>Block fall</i>	10.000 m ³	(ustreza ca. 25 m-ski dolžini roba) (equivalent of aprox. 25 m of edge length)
Podor hriba <i>Cliff fall (Bergsturz)</i>		

Pri presoji neke ogroženosti zaradi padajočega kamenja oz. pri vprašanju morebitnih potrebnih varovalnih ukrepov je poleg območja rušenja odločilnega pomena sama pot padanja. Pri tem imata odločujoč vpliv na energijski potek in na potek poti padajočih klad poleg same njihove oblike predvsem geometrična konfiguracija in sestava podlage (dušenje, hrpa-

vost itd.). Kinetična energija padajočih klad, ki izhaja iz potencialne energije v njihovem mirovanju, se tako v splošnem manjša in končno, ko klada obleži, povsem zreducira. Morebitni varovalni ukrepi na poti padanja morajo tako upoštevati sproščeno kinetično energijo s privzetkom zadostne funkcionalne višine (poskakujouče klade!) (NEUSCHMID 1996).

Preglednica 2: Okviren prikaz velikostnega reda sproščene kinetične energije pri prostem padu

Table 2: Approximate value of released kinetic energy by free-fall

Sproščena energija pri prostem padu <i>Value of released energy by free-fall</i>	Masa / Mass Višina / Height	Velikost skale iz apnenca <i>Dimension of limestone rock</i>
E = 50 kNm =	500 kg z višine 10 m / 500 kg from 10 m of height	0,25 m ³
E = 250 kNm =	500 kg z višine 50 m / 500 kg from 50 m of height	0,25 m ³
E = 500 kNm =	1.000 kg z višine 50 m / 1,000 kg from 50 m of height	0,50 m ³
E = 1.000 kNm =	2.000 kg z višine 50 m / 2,000 kg from 50 m of height	1,00 m ³
E = 2.000 kNm =	4.000 kg z višine 50 m / 4,000 kg from 50 m of height	2,00 m ³
E = 2.500 kNm =	5.000 kg z višine 50 m / 5,000 kg from 50 m of height	2,50 m ³

3 PRINCIPI VARSTVA PRED PORUŠITVENO EROZIJO

3 PROTECTION PRINCIPLES AGAINST ROCKFALL EROSION

V principu delimo varstvo pred porušitveno erozijo na **aktivno** in **pasivno varstvo**.

Aktivno varstvo sestavljajo ukrepi primarnega in sekundarnega varovanja (ANGERER 1995).

Primarno varovanje izvajamo na mestu nastanka porušitev. Uporabljamo lahko naslednje ukrepe:

- biološko varovanje; čiščenje brežin, sekanje drevnine
- gradbenotehnična varovanja
- odvodnjavanje
- podporne in oporne zidove
- kamnite zložbe in žične košare
- torkretiranje
- sidranje in mozničenje
- slope
- lesene kašte
- prekrivanje z mrežami



Slika 1: Zaščitni ukrepi pred padanjem skal ob AC Hrušica-Vrba: podajne lovinske ograje (Foto: D. Durjava)

Figure 1: Protection measures against rockfall on Hrušica - Vrba highway; flexible rockfall protection barriers (Photo: D. Durjava)

Sekundarno varovanje uporabljamo na poti porušitev, ko so se le-te že sprožile. Uporabimo lahko naslednje ukrepe:

- zaustavljalne zidove
- zaustavljalne pregrade
- lovilne varovalne ograje
- viseče varovalne mreže
- galerije in tunele
- biološke ukrepe

Pasivni varovalni ukrepi obsegajo:

- opuščanje rabe s porušitvami ogroženih površin s primernim prostorskim načrtovanjem (načrtovanje namembnosti površin, prepoved gradnje na ogroženih površinah, določanje s porušitvami ogroženih površin)
- izdelavo prostorskih in gradbenih strokovno-pravnih pogojev
- zaporo prometnic
- evakuacijo
- preselitve z ogroženih območij

4 SEKUNDARNO VAROVANJE PRED PORUŠITVENO EROZIJO 4 SECONDARY PROTECTION FROM ROCKFALL EROSION

Za zagotavljanje ustreznega varstva objektov ob porušitvi je potrebno objekte in zlasti prometnice, ki potekajo po hribovitem in goratem svetu, načrtovati tako, da se čimbolj izognejo nevarnosti porušitve skalnih gmot, ki jo pogojujejo zlasti geološke pa tudi vegetacijske razmere. Na lokacijah, kjer se taki nevarnosti ne moremo izogniti, pa moramo izvesti primerno sekundarno varovanje pred porušitvami skalnih gmot. Način zaščite je odvisen od velikosti in jakosti kamninskega podiranja.

Na zaustavljanje in vezanje s porušitveno erozijo sproženih skal in kamenja ima zelo velik vpliv tudi gozd. Gozdno rastje na pobočjih marsikje bistveno zmanjšuje ogroženost prometnic in različnih objektov v dolinah.

Francoska študija (CHAUVIN / RENAUD 1996) je z uporabo stohastične metode poskušala s kvantitativnimi rezultati prikazati vpliv gozda na zaščito cest v primeru sprožitve kamnitih zruškov na območju ceste k smučarskemu središču Val d'Isere. Simulacija je pokazala, da ima gozd zelo pomemben vpliv na razdaljo, na kateri se padajoč kamnit zrušek ustavi. Po fiktivni odstranitvi gozda se je namreč delež kamnitih zruškov, ki so dospeli do ceste, povzpel z 18 na 71 %, kar dodatno dokazuje izjemno pomembnost varovalne funkcije gorskih gozdov.

Seveda pa se moramo zavedati, da gozd pri podorih večjih dimenzij nima praktično nobenega vpliva na njihovo dinamiko in zaustavljanje.

4.1 Zaščita pred skalnimi podori in podori hriba 4.1 Protection from block falls and from cliff falls (Bergsturz)

Pri zaščiti prometnic pred zelo razsežnimi skalnimi podori in podori hriba je le malo dolgoročno smotnih ukrepov. Kjer je to prostorsko možno ter ekonomsko upravičeno, je smotno razmišljati o preložitvi prometnice iz ogroženega sveta.

Druga možnost pa je izvedba galerije, ki je primerna v zelo neugodnih razmerah, ko imamo opraviti s krušljivostjo na zelo obsežnem pobočju, in pri reševanju problematike večjih skalnih podorov. Galerije, ki ščitijo pred večjimi skalnimi podori, naj bodo prekrite z zadostnim slojem preperin za zagotavljanje zaščite objekta pred dinamičnimi udarci padajočih skal.

4.2 Zaščita pred padanjem skal

4.2 Protection from rockfall

Zaščito pred manjšimi padajočimi skalami zagotavljamo s togimi in podajnimi lovilnimi ograjami ter z zaustavljivimi zidovi in pregradami, ki morajo biti dimenzionirani za dinamične pritiske padajočih skal.

Toge lovilne ograje so uporabne zgolj za lovljenje manjših kotalečih se kamnov. Če padajoče kamenje pridobi večjo energijo, ki je toge lovilne ograje ne morejo prevzeti, pride do poškodovanja varovalnih objektov in posledično do ogrožanja hiš in prometnic.

Podajne lovilne ograje so sorazmerno dragi objekti, vendar zelo primerni za zaščito pred manjšimi padajočimi skalami. Kombinirati jih je možno tudi z zaščito pred snežnimi plazovi. Zaželeno je, da so konstruirani tako, da omogočajo dostop za odstranjevanje ulovljenih skal.

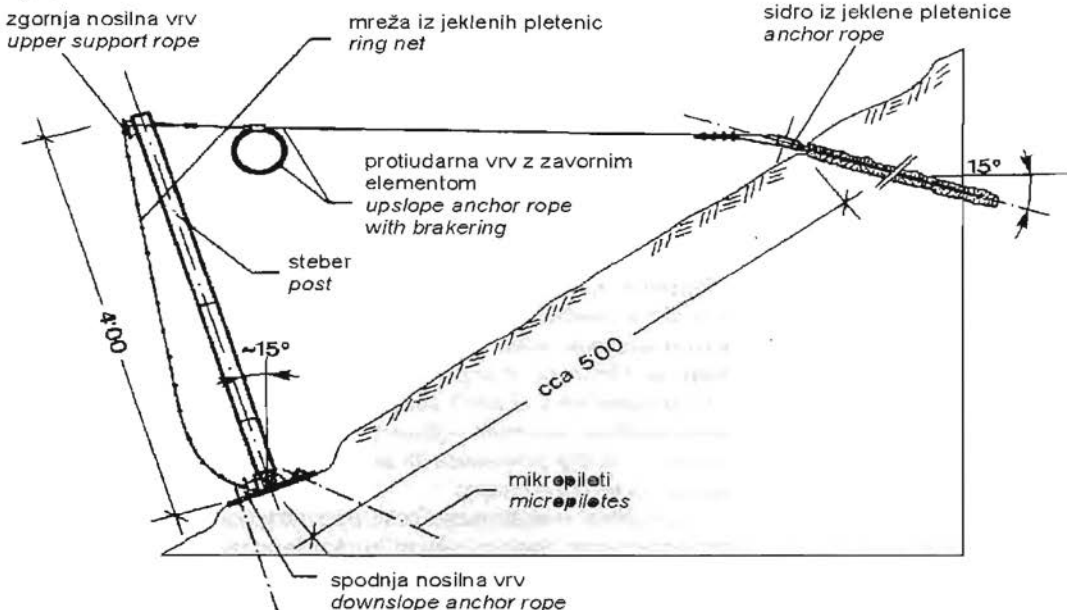
Podajne lovilne ograje sestavljajo gibljivi jekleni nosilci, členkasto povezani s temeljnimi sidri, v zgornjem delu pa sidrani z jeklenimi napenjalnimi pletenicami, ki imajo vgrajene posebne dinamične zavore. Tako zasnovana konstrukcija s svojim nihanjem prenese precejšen del dinamičnih obremenitev, ki jih povzročajo padajoče skale. Zaradi nekajkrat večje kompenzacije dinamičnih pritiskov ima zlasti v težavnejših razmerah prednost uporaba podajnih lovilnih ograj pred togimi.

Pri podajnih lovilnih ograjah je konstrukcija prekrita z mrežo iz jeklenih pletenic, ki so pri manjših obremenitvah prepletene kot diagonalna mreža s posebnimi fleksibilnimi spojnimi elementi, pri večjih obremenitvah pa kot obročasta mreža. Glede na zahtevnost konstrukcije lahko podajne lovilne ograje prestrežejo od 75 kJ do prek 2.000 kJ dinamične obremenitve.

4.3 Zaščita pred padajočim kamenjem

4.3 Protection from stone falls

Zaščito pred padajočim kamenjem lahko izvajamo z visečimi varovalnimi mrežami, z zaustavljivimi zidovi in pregradami ter z lovilnimi varovalnimi ograjami.



Slika 2: Podajna lovilna ograja (Risal M. Plešnar)

Figure 2: Flexible rockfall protection barrier (Drawing by M. Plešnar)

Slika 3: Podajna lovilna ograja - učinkovita in preizkušena (na obremenitve do 2.000 kNm) zaščita pred padajočim kamenjem (Foto: Geobrugg)

Figure 3: Flexible rockfall protection barrier - proved an effective protection from stonefalls of energy absorption up to 2,000 kNm (Photo: Geobrugg)



Z visečimi varovalnimi mrežami prekrijemo krušljiva pobočja neposredno nad prometnicami in jih ustrezno sidramo v podlago. Položene naj bi bile praviloma tako, da se padajoče kamenje odlaga ob vznožjih pobočij, med njimi in varovanim objektom oz prometnico. Med vzdrževalnimi deli je občasno potrebno ujeti kamenje odstraniti, sicer postane pritisk odkrušenega erozijskega drobirja prevelik in raztrga mreže (HORVAT 1995).

Za izdelavo mrež uporabljamo pocinkano žično pletivo, ki je lahko še dodatno zaščiten s tanko, praviloma prozorno prevleko iz PVC-folije. Plastificirano žično pletivo je uporabno zlasti tam, kjer rjavenje iz estetskih razlogov ni zaželeno. Mreže iz kokosa, konoplje in plastičnih materialov zaradi premajhne natezne trdnosti niso primerne za zaščito pred skalnimi okruški, ampak le za zaščito pred površinskim spiranjem preperin (MARUŠIČ et al. 1997)

Postavitev visečih varovalnih mrež je možno kombinirati z različnimi načini zatravitev in pogozdovanja, ki pa jih moramo izvesti tako, da lahko rastline razvijajo koreninski sistem v matično hribino (ZEMLJIČ 1962).

Z zaustavljalnimi zidovi in pregradami lahko lovimo padajoče skale in kamenje. Za objekti mora biti na razpolago ustrezno velik akumulacijski prostor, sami objekti pa morajo biti z ustrezno oblikovanimi nasipi zaščiteni pred dinamičnimi obremenitvami.

5 SKLEPNE MISLI

5 CONCLUSIONS

Porušitve skalnih grot pogosto ogrožajo varnost objektov in promet na cestah in železniških progah, zato je zelo pomembno primerno načrtovanje in varovanje le-teh. Principi zaščite objektov in prometnic pred porušitvami so odvisni od obsega ogroženosti.

Pri ogroženosti s skalnimi podori in podori hriba večjih razsežnosti je za zagotavljanje sekundarnega varstva ob zrušitvi smotrno razmišljati o morebitni deviaciji prometnice ali pa jo je praviloma potrebno zaščititi s primerno oblikovano galerijo.

Pri porušitvah manjših razsežnosti, pri padanju kamenja in skal, je način varovanja odvisen zlasti od velikosti in lokacije porušitve glede na ogroženi objekt oz. prometnico ter od tehničnih možnosti in ekološke primernosti

varovalnih ukrepov. V poštev pride zlasti uporaba visečih varovalnih mrež različnih dimenzij ter raznovrstnih togih in podajnih lovilnih mrež. Omenjene ukrepe je možno primerno vklopiti v okolje, kar nam kažejo primeri uspešno izvedenih del v Sloveniji.

Varovalne ukrepe pred padajočim kamenjem je možno kombinirati z ukrepi za zaščito objektov in prometnic pred snežnimi plazovi.

Sodobni načini varovanja objektov in prometnic pred porušitvami skalnih gmot omogočajo kvalitetne tehnične rešitve, s katerimi lahko v heterogenih pogojih, značilnih zlasti za potek prometnic po hribovitem svetu, zagotovimo optimalne rešitve. Pravljen izbor in izvedba zaščite pred padajočim kamenjem sta pogoj za njeno tehnično učinkovitost ter ekonomsko in ekološko primernost.

Pri vseh številnih načinih sodobnega varovanja objektov in prometnic pred porušitvami skalnih gmot pa ne smemo pozabiti, da je varnost objektov in prometa v osnovi pogojena zlasti z lokacijo oz. s potekom trase prometnice in s primerno vegetacijsko zaščito pobočij nad njo, medtem ko bi tehnične ukrepe smeli uporabiti le na ožjih ogroženih območjih, kjer se določeni lokaciji oz. trasi iz utemeljenih razlogov ni mogoče izogniti.

VIRI / REFERENCES

- ANGERER et al., 1995. Steinschlagschutz - Steinschlagschutznetze, - Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Geol. Stelle. der WLV, Wien, 32 s.
- BENNETT, H. H., 1955. Elements of Soil Conservation.- 2-nd.Ed., N.Y., Toronto, London.
- CHAUVIN, C. / RENAUD, J. P., 1996. Etude du rôle de protection des forêts contre les chutes de rochers-simulation par modele stochastique.- INTERPRAEVENT 1996 - Ga.-Pa., Tagungspublikation, Band 3, s. 215-223.
- HORVAT, A., 1995. Utrjevanje pobočij z rastlinsko odejo.- Zbornik Obnova vegetacije ob daljinskih cestah, Ljubljana, s. 60-73.
- KOHNKE, H. / BERTRAND, A., 1959. Soil Conservation.- New York.
- MARUŠIČ, J. / HORVAT, A. / ŠIFTAR., A. ..., 1997. Inženirskobiološki in krajinskotehnični vidiki urejanja obcestne krajine.- Urejanje obcestne krajine - Priročnik, MOP URSP, 1997, s. 45-66.
- NEUSCHMID, K., 1996. Methoden der Böschungssicherung von Hangquerungen in steilen Gelände.- Eigenverlag, Lechen - Thiersee, 128 s.
- POISEL, R., 1997. Geologische-geomechanische Grundlagen der Auslösemechanismen von Steinschlag.- V: Symposium Steinschlag als Naturgefahr und Prozeß, Univ. Salzburg, 3./4. Sept., s. 4-6., separat
- REDLICH / TERZAGHI / KAMPE, 1929. Ingenieurgeologie.- Springer, Wien u. Berlin.
- ZEMLJIČ, M., 1962. Vegetativno utrjevanje narušenih terenov.- Zbornik IGLG, 3, Ljubljana, s. 147-164