

ZAŠTITA PROMETNICA I SUDIONIKA U PROMETU OD ODRONA KAMENJA

⁹⁰Vjekoslav Budimir, ing.građ., ⁹¹mr.sc. Aron Vogel i ⁹²doc.dr.sc. Želimir Ortolan

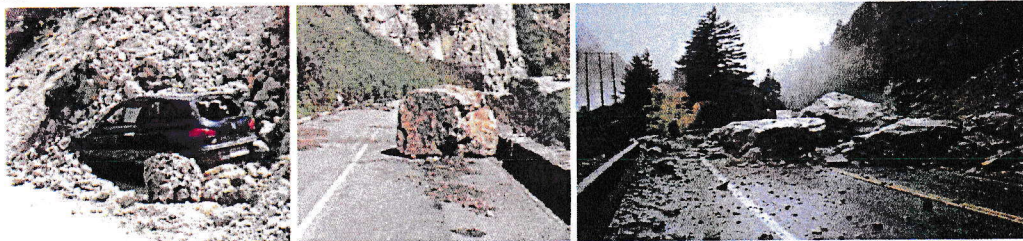
Sažetak

Analizira se i ukazuje na probleme u prometu izazvane odronima kamenja na prometnice. Prikazujući niz primjera, opisane su dobre i loše strane konvencionalnih i modernijih sustava zaštite. Praksa je pokazala da su najefikasniji, ekološki i estetski najprihvatljiviji, jednostavni za montažu i nezahtjevni u održavanju, ukratko najbolji – sustavi izuzetno fleksibilnih i elastičnih čeličnih prstenastih mreža (efekt zavjese) s velikim kapacitetima apsorpcije energije odrona (udara) kamenja, maksimalno do 5000 kJ. U radu je prikazan i primjer idejnog rješenja zaštite od odrona kamenja na Raspadalici kod Buzeta, iznad željezničke pruge D.G. Slovenija – Pula, u blizini željezničke postaje Buzet. Predložen je sustav zaštite od odrona pomoću RXI Rockfall barijere tvrtke Geobrugg. U Hrvatskoj tom problemu ne pridaje se dovoljna pažnja, niti kod izgradnje novih prometnica, niti pri održavanju i rekonstrukciji postojećih. Preporuča se načelni stav nadležnih tijela državne uprave «bolje spriječiti nego liječiti», te donošenje odgovarajuće zakonske regulative i efikasnu primjenu postojeće, u dijelu u kojem je dobra.

Uvod

Odroni kamenja na prometnice čest su uzrok prometnih nezgoda u svijetu. U našoj zemlji također su sve češći uzrok prometnih nezgoda, a njihov porast možemo očekivati u najskorijoj budućnosti, ukoliko se ne poduzmu odgovarajuće mjere.

Uzrok odronu kamena može biti više faktora: geološki sastav, nepovoljan položaj slojeva i izlomljenost stijenskog masiva, ispunjena pukotina glinovitim materijalom niske posmične čvrstoće, obilne kiše i oluje uzrokovane promjenom klime, procjedna i podzemna voda koje povećavaju porne pritiske u masivu, zamrzavanje vode u glinovitoj ispunjenoj pukotina i u prslinama, razne dinamičke pobude (potres, miniranje, prolaz težih tereta, ...), kretanje životinja i ljudi na kosinama i padinama, te antropogeni zahvati u stijeni pri izgradnji prometnica i sječa stabala. Neke posljedice odrona prikazane su slikama 1-3.



Slike 1 – 3. Odroni kamenja s vidljivim i mogućim posljedicama šalju jasnu poruku projektantima i sudionicima u prometu.

⁹⁰ Vjekoslav Budimir, ing.građ., Geobrugg Hrvatska, Bani 75, 10010 Zagreb

⁹¹ Mr.sc. Aron Vogel, dipl.ing.geol., Fatzer AG, Geobrugg Protection Systems, Hofstrasse 55, 8590 Romanshorn, Switzerland

⁹² Doc.dr.sc. Želimir Ortolan, dipl.ing.geol., Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski fakultet, Drinska 16a, 31000 Osijek

U Hrvatskoj se tom problemu ne pridaje dovoljna pažnja, kako kod izgradnje novih prometnica, tako i pri održavanju i rekonstrukciji postojećih. Čini se da broj poginulih u prometnim nesrećama izazvanim odronima kamena nije dovoljno velik da bi taj problem bio ozbiljno shvaćen i adekvatno tretiran. Na žalost, sustavno se obrađuju samo područja na kojima se već dogodio nekakav veći odron, a niti to nije redovita praksa (primjer za to iznosi se u radu). Kao dobar primjer ozbiljnog shvaćanja te opasnosti navedimo podatak da švicarska vlada, kako bi povećala sigurnost prometa, godišnje troši oko 1 milijun CHF za izgradnju sustava zaštite od odrona.

Dosadašnja praksa u rješavanju problema

Postoje razni načini zaštite od odrona. Njihova učinkovitost nije uvijek na zahtjevanoj razini. Čvrstoće zaštitnih barijera često nisu dovoljne i trajnost im je ograničena. Izgradnja takvih zaštita ponekad je jako skupa te narušava okoliš izborom korištenog materijala i izgledom koji se ne uklapa u okoliš. Spomenimo ovdje najčešće primijenjena rješenja, koja uglavnom služe svrsi duže ili kraće vrijeme, ali imaju previše loših strana.

- *Mlazni beton (torkret)* skup je te estetski i ekološki neprihvatljiv način spriječavanja odrona kamena. Trajnost mu je ograničena zbog zatvaranja povremeno prisutnih vodenih džepova iza takve vrste obloge, te smrzavanja vode i djelomičnog ispiranja podloge ispod obloge. Primjeri takve zaštite, na kojima se vide i loše strane rješenja, prikazani su na slikama 4-6.

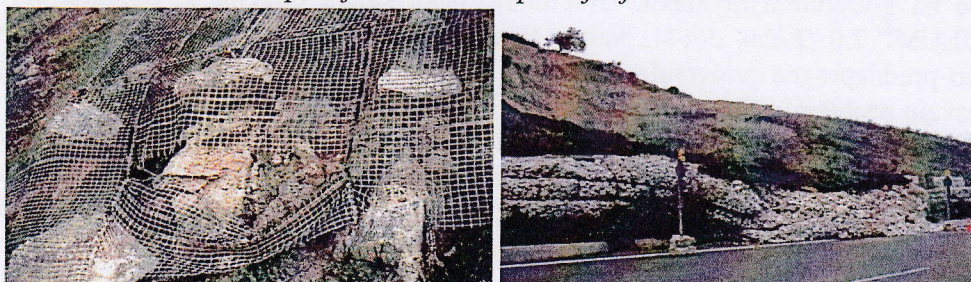
- *Razne geomreže i pocinčane mreže* upitne su čvrstoće za potrebne barijere, kratkotrajna im je otpornost na koroziju i slabo su rješenje unatoč tomu što su jeftine.

- *Armiranobetonski zidovi* su skupo rješenje, sistem je neelastičan te su kod jačeg udara moguće destrukcije i oštećenja zida. Rješenje je estetski i ekološki neprihvatljivo.

- *Armiranobetonske galerije* predstavljaju veoma skupa i, ekološki neprihvatljiva rješenja.



Slike 4 – 6. Primjeri zaštite pokosa mlaznim betonom. Na slikama se dovoljno jasno zapažaju loše strane primijenjene zaštite.



Slike 7 – 8. Primjeri zaštite pokosa geo i pocinčanim mrežama. Desno je gabionski zid, koji nije izdržao potisak nestabilne mase. Ima malu zapremninsku težinu, i to mu je osobito slaba strana.



Slike 9 – 11. Armiranobetonski zid (9 - lijevo) i armiranobetonske galerije (10 – sredina, 11 - desno). Zid zbog neelastičnosti očito nije izdržao udar kamena.

Prijedlog uspješnog rješavanja problema

Dobre načine sprječavanja odrona kamena i zaštite od odrona razvila je švicarska kompanija „GEOBRUGG“, koja ima svoje predstavništvo i u Hrvatskoj. Ona se bavi razvojem i proizvodnjom sistema zaštite od odrona kamena. Radi se o proizvodnji čeličnih mreža velike čvrstoće i posebnog načina antikorozivne zaštite, čime se produljuje trajnost materijala i do tri puta. Mikulić & Stipetić (1999), pišući o zaštiti od kamenih odrona i lavina spominju prihvatne ograde i obuhvatne mreže tvrtke Geobrugg, kao dobre sustave zaštite pružnih građevina.

U uporabi su dva modela sistema zaštite:

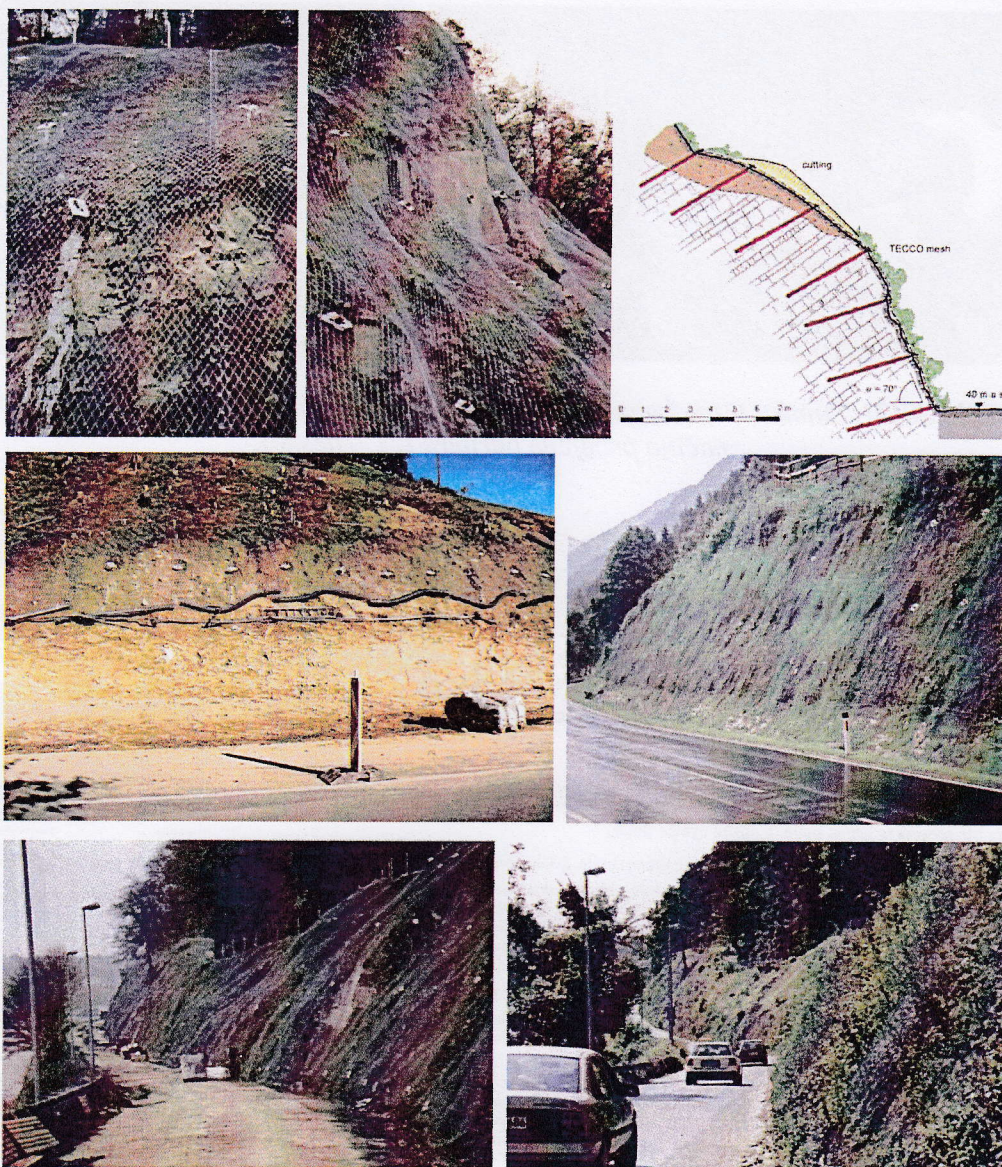
- sistem za aktivnu zaštitu od odrona kamena (Tecco, Spider) i
- sistem za pasivnu zaštitu od odrona kamena (RXI-barijere).

Aktivna zaštita od odrona kamena izvodi se na način da mrežu pričvršćujemo na tlo – padinu, i na taj način stabiliziramo cijelu površinu padine. Sustav aktivne zaštite sastoji se od:

- TECCO® čelične mreže debljine 3 mm, visoke čvrstoće (1770 N/mm^2), okaca oblika romba s dijagonalama $83 \times 143 \text{ mm}$ i unutrašnjeg radijusa 65 mm, s antikorozivnom zaštitom GEOBRUGG SUPERCOATING® (sastoji se od 95% cinka i 5% aluminijska - 150 g/m^2) čime se njihova trajnost produžava i do 3 puta.
- Sidara za zemlju ili kamen kojima se mreža dodatno učvršćuje i pritišće na površinu, a također mogu služiti i za dodatnu stabilizaciju plićih slojeva tla.
- Pričvršne pocinčane ploče oblika su romba. Pomoću pričvršnih ploča dodatno se prednapreže mreža i tako postiže potrebna stabilnost plićeg dijela padine.

Sama instalacija TECCO® mreže vrlo je jednostavna, a održavanje je gotovo nepotrebno. Ovisno o vrsti terena, kosina se očisti od raslinja, a sidra se bušenjem postave na potrebnom razmaku. Izračun razmaka sidara obavlja se pomoću softvera RUVOLUM® 7.0 (Flum, 2006). Nakon toga se mreža jednostavno položi na padinu, te dodatno prednapregne pričvršnim pločama. Ovim načinom stabilizacije terena uspješno se rješavaju problemi plitkih deformacija na nestabilnom tlu, odroni kamenja, te ispiranje tla procjednom i oborinskom vodom, što u konačnici umanjuje i sprječava mogućnost izazivanja odrona. Zbog samog oblika mreže, vrlo je jednostavno ozelenjavanje padine prirodnim putem ili hidrosjetvom. Također postoji mogućnost sadnje manjih stabala i grmova, što ovaj proizvod čini estetski i ekološki prihvatljivim. Kod terena gdje postoji opasnost od ispiranja zemlje i sjemena trave, koristi se TECMAT trodimenzionalna polipropilenska podloga u TECCO mreži u zelenoj boji. Zbog svog trodimenzionalnog

oblika i zelene boje, dobro se uklapa u okoliš, te pospješuje rast trave i sprječava ispiranje tla, tj. njegovu eroziju s površine padine.

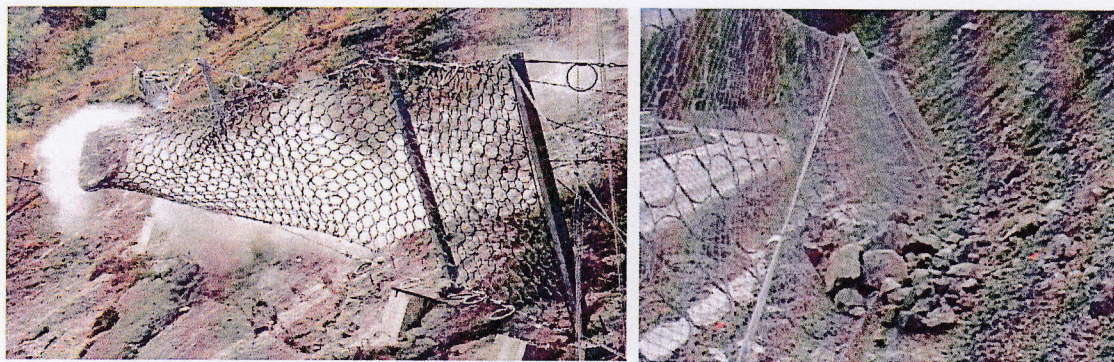


Slike 12-18. Primjeri aktivne zaštite zaštite pokosa od odrona kamena i površinske erozije s nekim detaljima izvođenja.

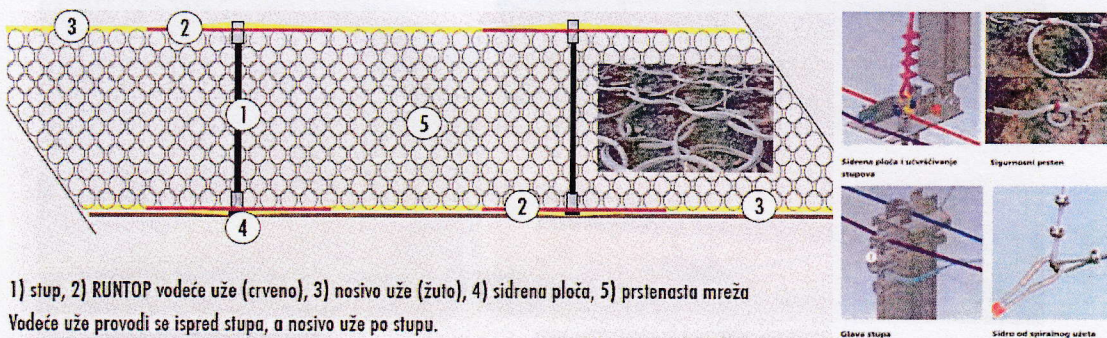
Na ovaj način može se uspješno riješiti stabilizacija kosina i plićih dijelova padina uz same prometnice. To je i ekološki prihvatljivo rješenje problema zaštite prometnica i sudionika u prometu od odrona kamena i plitkih klizanja terena. Sama instalacija je znatno jeftinija od konvencionalnih rješenja, a održavanje je svedeno na minimum.

Pasivna zaštita sastoji se u prihvaćanju odronjenog kamenja barijerom s prstenastom mrežom i na taj se način štite prometnica i sudionici u prometu od odrona. Sustav pasivne zaštite prikazan je nizom detalja s pripadajućim opisom na slici 19. Detalj eksperimentalnog ispitivanja sustava RXI-barijere prikazan je na slici 20, a efikasnost samog sustava (te mjesta moguće primjene) u konkretnim slučajevima vidi se na slikama 21-28. Veoma zanimljiv način testiranja spomenutog sustava i dobivenih rezultata prikazali su Gerber & Roth (2004?) i Züger & Haller (?). Detaljniji uvid u cijeli sustav

moguće je ostvariti na <http://www.dr-spang.de/rockfall/referenzen.html> (ili E-mail: info@geobrugg.com / www.geobrugg.com).



Slike 20-21. Snimka trenutka udara kamena u RXI-barijeru (20 – lijevo) i jedan od načina primjene barijere (21 – desno).



1) stup, 2) RUNTOP vodeće uže (crveno), 3) nosivo uže (žuto), 4) sidrena ploča, 5) prstenasta mreža
Vodeće uže provodi se ispred stupa, a nosivo uže po stupu.

- 1 - STUP je čelični pocinčan. Jednostavno se montira u sidrenu ploču. Svi dijelovi po kojima klizi čelično uže su zaobljeni da ne bi došlo do oštećenja užeta.
 - 2 - RUNTOP VODEĆE UŽE odvaja ovjes prstenaste mreže – barem djelomično – od glava stupova, sidrenih ploča, sidara, zadržne i zatezne užadi. Mreža u slučaju nužde može stoga funkcionirati preko više polja barijere. Budući da ovaj „efekt zavjese“ povećava aktivan broj prstenova u području udara za min. 40%, mreža apsorbira više energije, a djelujuće sile optimalno se raspoređuju preko susjednih polja. Drugim riječima: sidra i komponente sustava odgovarajuće se manje opterećuju. Opisani sustav zaštite smanjuje građevinske troškove: s jedne je strane moguće primijeniti kratka sidra, a s druge strane može se smanjiti broj sigurnosnih prstenova. Tako je, primjerice, kod zaštitne konstrukcije duljine 40 do 60 m za udarnu energiju do 500 kJ potrebno osam sigurnosnih prstenova.
 - 3 - NOSIVO UŽE – postavlja se na gornji i donji dio barijere, te se na njega pričvršćuje prstenasta mreža.
 - 4 - SIDRENA PLOČA - Bez obzira da li se radi o trošnoj stijeni, betonskom temelju ili čvrstoj stijeni, sidrenu je ploču moguće brzo i jednostavno postaviti pomoću jednog, a najviše dva sidra. Kako bi se izbjegla oštećenja užadi, svi elementi za vođenje užeta na podnožju stupa su zaobljeni.
 - 5 - ROCCO® PRSTENASTA MREŽA je središnji element barijere. Zaštitno djelovanje ROCCO® prstenastih mreža temelji se na 50-godišnjem kontinuiranom istraživanju. U njezin su razvoj utkana saznanja koja su stečena u terenskim testovima i u suradnji s međunarodnim ustanovama. Rezultat je uvjerljiv: zahvaljujući svom odličnom elastično-plastičnom ponašanju, ROCCO® prstenaste mreže znatno su nadmoćnije od konvencionalnih sustava. One same apsorbiraju energiju i time manje opterećuju usidrenja nego šesterostruke ovješene prstenaste mreže, dijagonalne mreže od užadi ili čista rješenja s mrežama od užadi. Kinetičku energiju kod nekog događaja prvo smanjuju zbrojem deformacija svih prstenova. Pritom se uvođenje sila u mrežu, odnosno u čitav sustav, odvija ravnomjerno i bez ekstremnog opterećenja usidrenja. Osim toga, prstenasta mreža pričvršćena karikama u nekoliko se djelića sekundi skuplja iznad mjesta udara: prstenasti snopovi koncentriraju se tamo gdje su najviše potrebni (efekt zavjese).
- Prstenovi ROCCO® mreža imaju promjer od 300 ili 350 mm. Oni se sastoje od čelične žice debljine od 3 mm i čvrstoće od min. 1770 N/mm². Ovisno o planiranoj apsorpciji energije, u jednom se prstenu nalazi snop od 5 do 9 namota žice. Mreže su fleksibilne u svakom pogledu. Budući da se prstenovi mogu pomicati jedni u druge, mreža se prilagođava najrazličitijim konturama terena. Zaštitno djelovanje i funkcija ostaju očuvani čak i u slučaju kad je pri montaži potrebno izrezati dijelove mreže.
- 6 - SIGURNOSNI PRSTEN. Nosiva se užad bočno provodi kroz prstenasto savijene cijevi s pritisnim čahurama, koje djeluju poput sigurnosnih prstenova. Sigurnosni se prstenovi kod većih događaja stežu i na taj način smanjuju preostale energije iz prstenaste mreže, ne oštećujući pritom užad. Aktiviranjem sigurnosnog prstena ne smanjuje se prekidno opterećenje užeta.
 - 7 - SIDRO OD SPIRALNE UŽADI funkcioniра na principu - što se može saviti, to se ne lomi. Glava sidara je fleksibilna i stoga je neosjetljiva na udarce. Spiralno uže sastoji se od čeličnih žica čvrstoće od 1770 N/mm². Ukratko, sidra od spiralnog užeta nadmoćnija su od uobičajenih štapnih sidara osobito zbog toga što su prikladna za uvođenje sila u smjerovima povlačenja, koji bez gubitka nosivosti mogu odstupati od osi bušotine za do 30 stupnjeva.
 - 8 - GLAVA STUPA. Spojni svornjaci (1) pojednostavljuju montažu nosive i vodeće užadi. Nosivi elementi su oblikovani tako da čuvaju uže, što se uostalom i isplati u slučaju nužde. Nakon odrona kamenja užad u pravilu ostaje neoštećena i može se nastaviti koristiti.

Slika 19. Prikaz glavnih elemenata sustava pasivne zaštite od odrona kamenja pomoću RXI-barijere s prstenastom mrežom.



Slike 22-27. Primjeri efikasnosti sustava RXI-barijera s mjestima njihove moguće primjene, u konkretnim slučajevima iz prakse.

Primjer idejnog rješenja zaštite od odrona na lokaciji «Raspadalice» kod Buzeta u Istri

Opis lokacije

«Raspadalica» je oko 300 m duga vertikalna litica od vapnenaca (trajno se osipa, «raspada» se - što sugerira i samo ime lokacije), visine oko 65-80 m. U njejoj nožici završava strma padina povrh željezničke pruge D.G. Slovenija – Pula, između km 36 + 400 i km 36 + 700, u blizini željezničke postaje Buzet.



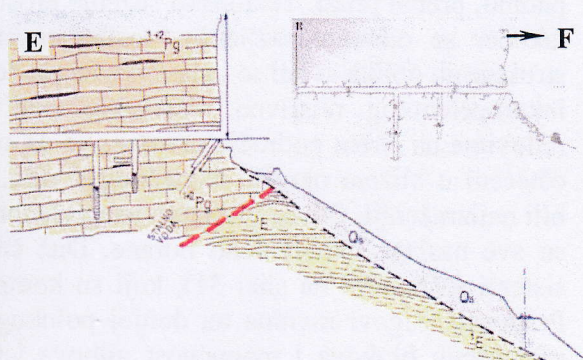
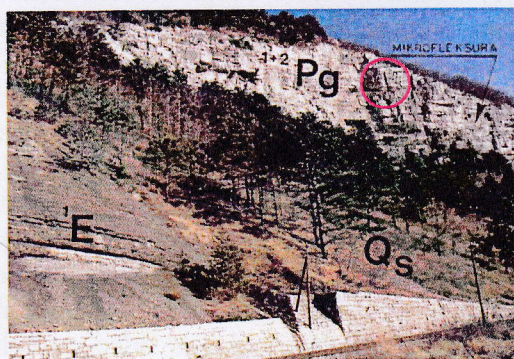
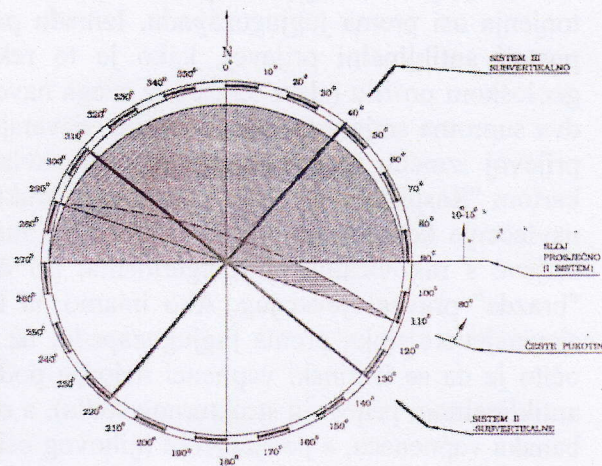
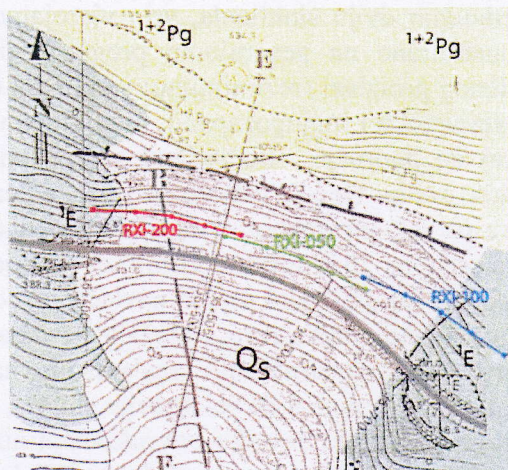
Slike 28 – 29. Na slici 28 (snimljeno 1995. g.) vidi se detalj čela «Raspadalice» sa zaokruženim mjestom (isto mjesto zaokruženo je na slici 29, snimljenoj 2007. g.) s kojega se odronilo oko 500 m³ stijenske mase u 1999. g. U zoni prikaza sa slike 28 alpinisti su pred više godina (prije 1995.) postavili eksploziv i minirali dio nestabilnih blokova.

Na ovoj lokaciji u Istri već su u bliskoj povijesti zabilježeni ogromni odroni, s velikom količinom kamena koji je u više navrata završavao na samoj pruzi, pri čemu su blokovi prelazili i preko pruge, na strmi niži dio padine. U bliskoj prošlosti zabilježen je podatak da su kao posljedica učinka ogromnog bloka vapnenca, koji se odlomio s litice,

nakon što je ispred sebe «pomeo drveće» uništio i kraći potez tračnica. To je pogubno završilo za prvi vlak koji je naišao. Lokomotiva je sletjela niz padinu i uništena je. Nakon tog tragičnog iskustva uvedena je stalna čuvarska služba na području Raspadalice. Posljednji veliki odron dogodio se 1999. godine, kada se otkinula stijenska masa od otprilike 500 m³ kamena i pala s visoke litice (o ovom događaju nažalost ne postoji fotodokumentacija, osim mogućnosti usporedbe slika 28 i 29), pri čemu se veći dio mase zadržao u području zoni zaštitne kamene brane, a dobar dio tog materijala (uključivo i veliki blok od cca 35 m³) zatrpao je prugu i blokirao promet. Većina otkinutog stijenskog materijala koji je ostao u području stare kamene brane, izgrađene da služi za zadržavanje otkinutih blokova, upotrijebljena je za obnovu i nadvišenje jednog njezinog dijela za cca 1 m, a sav preostali višak je uklonjen.

Inženjerskogeološke podloge s izvorima podataka za analize i dimenzioniranje RXI-barijere

Prve inženjerskogeološke podloge lokacije Raspadalica s konkretnim procjenama mogućih veličina blokova, za potrebe detaljnijih analiza, prikupio je *Ortolan (1995)*. Potom su *Tušar & Ortolan (1999)* izradili geotehnički projekt sa smjericama detaljnih istraživanja klizišta na spomenutoj lokaciji. Naime, osim odrona kamenja na lokaciji postoje i dva odvojena klizišta koja ugrožavaju prugu, a njihova sanacija bila je primarni zadatak.

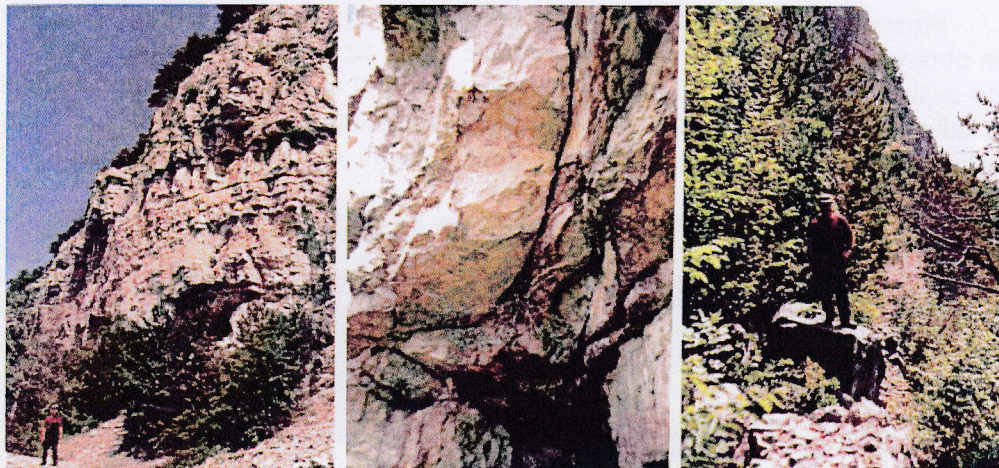


Slike 30 – 33. Geološka karta (sl. 30 - mjerilo je vidljivo iz stacionaža) s idejno predloženim položajem RXI-barijera, fotografija područja Raspadalice (slika 32 - zaokruženi detalj predstavlja mjesto iz kojega se 1999. g. otkinulo oko 500 m³ stijenski materijal). Na slici 33 prikazan je generalni prognozni geološki profil E-F, a na slici 31 prikazan je dijagram kartiranih sistema pukotina. Šire područje Raspadalice (Pleničar, Polšak & Šikić, 1965., Šikić, Pleničar & Šparica, 1967) izgrađuju slojevi i banci kozinskih vapnenaca sa slojevima ugljena (¹⁺²Pg), slojevi s rakovicama i globigerinama (¹E) te obronačne tvorevine deluvijalnog i siparišnog podrijetla (Ortolan, 1995). Njihov položaj u strukturno-tektonskom sklopu jasno je vidljiv na gornjim slikama.

Istraživano područje nalazi se u blizini dodira dviju tektonskih jedinica: ljuskave strukture Čićarije i tršćanskog paleogenskog bazena. Benac i Jurak (1979) spominju da se na njihovom kontaktu proteže najznačajniji reversni rasjed, na potezu od Sočerge preko Črnice do Sv. Martina i dalje na jugoistok. Duž tog kontakta borani su i razlamani paleogeni vapnenci (na šire istraživanoj lokaciji kozinski i miliolidni vapnenci), koji su navučeni na eocenske klastične naslage (na mikrolokaciji slojevi s rakovicama i globigerinama). Zalijeganje slojeva kozinskih vapnenaca je pri tome od jug-jugozapada prema sjever-sjeveroistoku, odnosno od jug-jugoistoka prema sjever-sjeverozapadu, generalno u padinu, kako je to prikazano na geološkoj karti (slika 30) i generalnom prognoznom geološkom profilu (slika 33).

Na čelu navlačenja oni tvore sinklinalu (kako se to zapaža i na slici 32, kojoj je pravac osi jugjugozapad-sjever-sjeveroistok, sa smjerom tonjenja generalno prema sjever-sjeveroistoku. Slojevi s rakovicama i globigerinama (otkriveni su u usjeku na slici 32), odnosno snimljeni položaji slojeva u usjecima prije i iza Raspadalice, ukazuju na

generalno sinklinalnu strukturu, u području između stacionaža Km 36+400 i 36+700. Ova sinklinala, generalnog pružanja osi u pravcu sjeversjeveroistok-jugjugozapad, ima smjer tonjenja osi prema jugjugozapadu. Između prethodnih dviju sinklinala, vrlo vjerojatno postoji antiklinalni prijevoj, kako je to rekonstruirano na generalnom prognoznom geološkom profilu (slika 33), pa iz svega navedenog proizlazi (rezimirajmo: sinklinala s dva suprotna smjera tonjenja – prema sjeversjeveroistoku i jugjugozapadu, i antiklinalni prijevoj između toga, u području čela navlake) da područje, obuhvaćeno geološkom kartom "Raspadalice", u biti predstavlja strukturno sedlo. Ono je nastalo kao posljedica navlačenja kompetentne krute vapnenačke mase na inkompetentne i plastične flišolike slojeve s rakovicama i globigerinama, pri čemu je na tom mjestu formirana dublja "brazda" pravca sjever-jug. Ako imamo na umu da je generalni smjer navlačenja od sjeversjeveroistoka prema jugjugozapadu, uz uvažavanje strukturnog položaja naslaga, očito je da se kozinski vapnenci najprije podvrgavaju komprimiranju i razlamanju (na antiklinalnom prijevoju strukturnog sedla), a odmah zatim dolazi do relaksacije slojeva i banaka vapnenaca, s posljedicom njihovog osipavanja na čelu navlake i obrušavanja niz padinu, prema pruži. Tektonsko suženje prostora, karakteristično i u regionalnom smislu, također se odrazilo različitim posljedicama na prisutne stijenske mase. Kinematika strukturnih oblika svodi se uglavnom na model odnosa kompetentnog krutog (vapnenca) i inkompetentnog relativno plastičnog medija (fliš) tijekom deformiranja. Istražnim radovima na širem području utvrđeno je da su vapnenci i flišolike naslage jače tektonski oštećeni u bližem okolišu navlačnog dodira, gdje su očito mehanički efekti navlačenja bili najizraženiji. Prema približno usaglašenom položaju slojeva, može se pretpostaviti da su sve naslage istovremeno borane. Duž čela navlake snimljeni su glavni pukotinski sistemi (prikazani na slici 31), koji su kompatibilni s globalnim tektonskim odnosima. Prikazani tragovi ravnina na donjoj polukugli jasno ukazuju na paralelepipedski oblik nestabilnih blokova i mogućnost njihova ispadanja uzduž subvertikalne litice na čelu navlake. Posebno je to potencirano detaljima litološke građe, slojevitošću (debljina i položaj slojeva te jasna diferencijacija slojnih ploha), mehaničkim stanjem stijenskog masiva i osnovnim značajkama pukotinskih sistema (ispuna, veličina zijeva, dužina i razmak pukotina te oblici pukotinskih ploha i njihova hrapavost). Kozinske vapnence uzduž strmog čela navlake izgrađuju debelo slojeviti do debelo bankoviti vapnenci s proslojcima ugljena debljine od nekoliko cm do nekoliko desetaka cm. Registriranim pukotinskim sistemima izdijeljeni su paralelepipedske blokove, obično manje od 1 m^3 , ponekad do 35 m^3 . Kopanje podzemnih tunela za eksploataciju ugljena (dilatacija masiva oko otvora tunela), elastično ponašanje slojeva vapnenca i plastično ponašanje slojeva ugljena u vapnencima dovode do drobljenja stijenske mase i ispadanja blokova. Zijev pukotina je obično od 1 - 5 mm, nerijetko i $>50\text{ mm}$ pa i 100 mm. Razmak pukotina obično iznosi između 600 i 2000 mm. Dužine pukotina su dekameterske. Plohe pukona su ravne do valovite, hrapave. Pukotine su uglavnom bez ispune, dijelom zaliječene kalcitom, rijetko s glinovitom ispunom - koja obično sadrži i sitno kršje matičnih stijena. Nestalni slojevi, ulošci i leće ugljena u kozinskim vapnencima, debljine nekoliko cm do nekoliko desetaka cm, od kojih su oni pri dnu čela navlake u bliskoj prošlosti i eksploatirani (ulazi u rudarska okna vide se na slikama 34 i 35). Komprimiranje naslaga na čelu navlake u području antiklinalnog prijevoja strukturnog sedla dovodi, između ostalog, i do akumulacije naprezanja, koja se oslobađaju pucanjem stijenske mase i drobljenjem slojeva ugljena, po mehanizmu sličnom "gorskom udaru".



Slika 34. Detalj čela navlake kozinskih vapnenaca sa slojevima ugljena. Zapaža se napušteno rudarsko okno i brojni manji ili veći stršeći nestabilni paralelepipedski blokovi vapnenca. U dnu je mnoštvo kršja, kao produkt osipanja vapnenaca s čela navlake i zaostalih nakon eksploatacije ugljena.

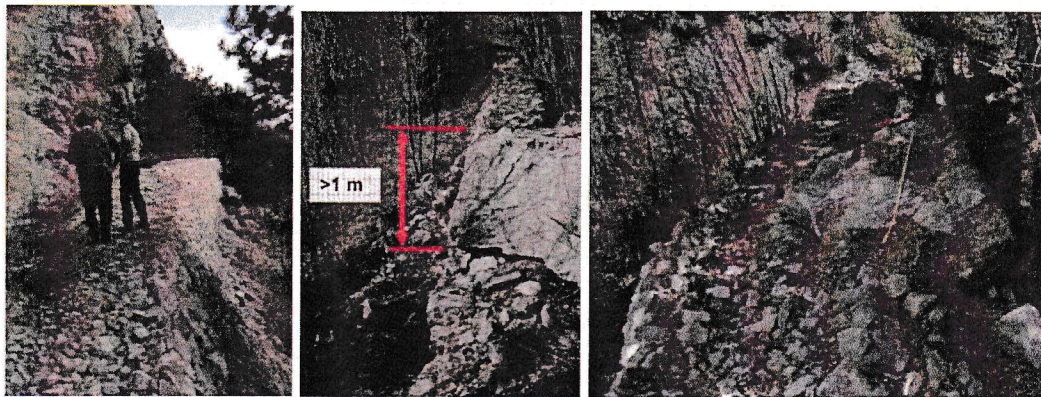
Slika 35. Jedan od ulaza u napuštena rudarska okna s debljim slojem ugljena u stropu. Ulaz je pri dnu čela navlake, u kozinskim vapnencima sa slojevima ugljena. Iznad okna vidi se nestabilni blok zapremnine oko 35 m^3 . U lijevom boku okna zapaženo je da se zbog koncentracije naprezanja javljaju brojne svježije subvertikalne prsline i pukotine.

Slika 36. Stari obrambeni nasip od rukom slaganih odlomaka i blokova kozinskih vapnenaca ispod čela navlake. Služi za zaustavljanje i zapriječavanje prolaza blokova odronjenih s čela navlake. Vidi se jedan blok zapremnine oko 2 m^3 , koji je ošteti dio nasipa, ali je nasip zapriječio njegovo daljnje kotrljanje po strmoj padini, prema pruzi. Položaj obrambenog nasipa u profilu ulaza u napuštena okna vidi se na generalnom geološkom profilu E-F (slika 33).

Odronima kamena bez daljnjega pripomaže i zamrzavanje vode u prslinama i pukotinama s glinovitom ispunom, što doprinosi povećanom tlaku u pukotinama (uslijed povećanja volumena zamrznute vode) i povećanih posmičnih naprezanja između blokova. U tome, dakako, sudjeluje procjedna voda, jer je dokazano da su stalni nivoi podzemnih voda znatno dublje od nožice strme litice što dokazuju izmjerene razine podzemnih voda u napuštenim rudarskim oknima na slici 33.

U siječnju 2007., lokaciju Raspadalice su, zamoljeni od strane „Hrvatskih željeznica“ da predlože moguće rješenje za njihov problem, posjetili sustručnjaci Geobrugga. Ocijenjeno je da se (zbog registriranog stanja i činjenice da je cijela strma litica praktično izgrađena od stijenskih blokova koji strše i vise iz masiva), može gotovo u svakom trenutku očekivati otkidanje i/ili ispadanje ogromnih količina stijenske mase. Procijenjeno je da bi na ovoj lokaciji, za zaštitu ljudi i infrastrukture od odrona kamena, mogle biti upotrijebljene RXI Rockfall barijere. Na osnovu postojeće tehničke dokumentacije, izvještaja o incidentnim događanjima vezanima uz pojedine odrone i vlastitih procjena veličina potencijalno otkinutih blokova te većih odrona stijenskog masiva, pristupili su detaljnim analizama i softverskim simulacijama mogućih odrona kamena. Rezultati su upotrijebljeni za detaljnu razradu sistema zaštite i izbor kvalitetnog rješenja zaštite od odrona.

Stijenska masa od otprilike 500 m³ kamena, od odrona iz 1999. godine, poslužila je za obnovu i nadvišenje dijela stare kamene brane za cca 1 m (v. sliku 37). U starom dijelu nasipa nađeni su veliki blokovi, vjerojatno ispali iz strmog čela navlake (slike 38-39), nakon čega su udarili u zid. Taj zid je u mogućnosti zadržati pasivnu energiju u slučaju novog odrona. To se može desiti kod ispadanja pojedinačnih stijena sa litice.



Slike 37-39. Obnovljeni i nadvišeni kameni zid (materijalom od odrona iz 1999.g.), udar većeg bloka u stari zid i veliki blok (>3m³) vapnenca u starom zidu. Snimljeno tijekom stručnog pregleda specijalista iz Geobrugga u siječnju 2007. godine.

Naravno da te mjere nisu dovoljne za kompletnu zaštitu pruge i sudionika u prometu. Kod mogućeg odrona blokova veće mase i većih volumena dijelova stijenskog masiva moguće je da kamenje ošteti zid ili ga preskoči i na kraju završi na pruži. Na potencijalni rizik mjesta ispadanja i udara kamena ukazuje i činjenica da je stari kameni zid izgrađen duž cijele vertikalne litice. Obnovljeni zid pokriva samo jedan dio od cijele dužine starog zida. Pogledom izbliza na vertikalnu liticu zapažaju se otvorene pukotine (često >5-10 cm) i viseći blokovi stijena koji samo čekaju da ispadnu (v. slike 28, 29, 34 i 35). Vjerojatnost od velikog odrona, sličnog onome iz 1999. godine ne može biti isključena. Padina ispod kamenog zida je djelomično obrasla crnogoričnim stablima (v. sliku 32).

Simulacija odrona i idejno rješenje zaštite od odrona kamenja na Raspadalici

Odroni koji bi mogli doseći prugu i procjena ponašanja pojedinačnih blokova mogu se, na temelju prikupljenih podataka, okvirno klasificirati u četiri kategorije:

- visoko odskakanje blokova manjeg volumena (<1 m³),
- odskakanje i kotrljanje pojedinačnih kamenih blokova (1 m³ – 3 m³),
- kotrljanje kamenih blokova velikog volumena (3 m³ – 5 m³), i ekstremno
- pojedinačni ogromni blokovi 5-35 (kadikad >35 m³) izlomljeni nakon udara u tlo.

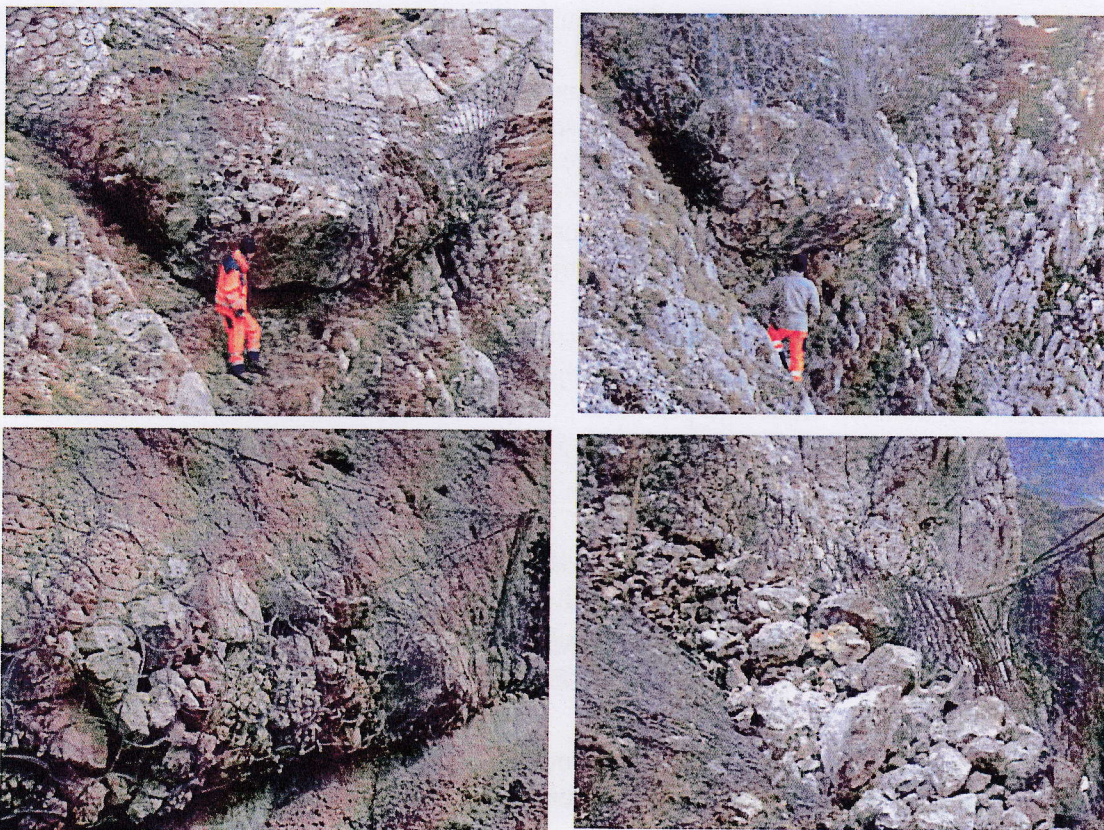
Za kalkulaciju moguće energije i visine odskoka kod odrona upotrijebljen je je software za simulacije odrona tvrtke "Geobrug" Rockfall 6.1 (Spang & Graf, 2001). Kao što je spomenuto u klasifikaciji volumeni tijela kod odrona procijenjeni su između 1 i >35 m³.

Na osnovu tih podataka odabrane su četiri veličine blokova za simulacije odrona. Rezultati su predstavljeni u tablici 1. Program za simulaciju radi na dvodimenzionalnoj bazi, a korišten je tipični presjek terena. Podaci za taj presjek uzeti su mjerenjem na licu mjesta i iz postojeće geotehničke dokumentacije. Prema zapažanjima na terenu, mogla se

korektno procijeniti (slike 36, 38 i 39) energija udara na (u) stari zid. Kao što se vidi iz rezultata simulacije u tablici 1., energija udara u RXI-barijeru varira između 242 do 809 kJ, za blokove veličine do 5 m³.

Tablica 1. Tablični prikaz rezultata simulacije odrona kamena s dimenzioniranjem RXI-barijera na lokaciji «Raspadalica».

| Veličina bloka (m ³) | Energija udara u postojeći zid (kJ) | Izračunata energija u RXI-barijeri (kJ) | Minimalna visina sustava RXI-barijere (m) |
|----------------------------------|-------------------------------------|---|---|
| 1 | 849 | 242 | 1,62 |
| 3 | 2.557 | 619 | 1,87 |
| 5 | 3.808 | 809 | 2,21 |
| 35 | 27.011 | 8.558 | 4,24 |



Slike 40-43. Sistem RXI-200 (2000 kJ) bez problema zaustavlja i hvata volumen stijenskih blokova veći od 25 m³ (2007., Kehlstein - Njemačka)

Energija dobivena u simulaciji odrona bloka od 35 m³ nije ozbiljnije razmatrana jer je vrlo mala vjerojatnost da blok takve veličine može stići do pruge u jednom komadu, iako se to barem jednom očito već dogodilo.

Simulacija odrona obavljena je na samo jednom karakterističnom presjeku terena. Za detaljniju analizu trebalo bi izvesti još simulacija, na više karakterističnih presjeka, da bi uvid u situaciju bio cjelovitiji i rješenje preciznije razrađeno. Interpretirani rezultati bazirani su na inženjerskom znanju i iskustvu tvrtke „Geobrugg” u sličnim slučajevima.

Na temelju izvršenih analiza predloženo je rješenje za zaštitu od odrona iz litice pomoću tri barijere različitih kapaciteta apsorpcije energije odrona (500 kJ, 1000 kJ i 2000 kJ). Mjesto postavljanja RXI Rockfall barijera odabrano je na cca 70 m horizontalne udaljenosti od litice, kako je to prikazano na slici 30. Preciznija lokacija se treba odabrati na licu mjesta zbog same topografske situacije. Predložene barijere će moći uhvatiti velike stijenske blokove kao i velike količine odronjenog kamena. Procjena se temelji, između ostalog, na primjerima uspješnih rješenja obrane od odrona kamena RXI-barijerama prikazaniima na slikama u ovom radu.

Zaključak

Način obrane od odrona kamena na prometnice prikazan u ovom radu primjenjuje se diljem svijeta. Zbog svojstava RXI-barijera Njemačke željeznice - DB uvrstile su ih u svoj pravilnik o sigurnosti u željezničkom prometu kao kvalitetno rješenje problema zaštite od odrona kamena (Geobruggove Rockfall barijere s prstenastom mrežom).

Odroni kamena, klizišta, klizanje mulja, lavine i otkidanje leda prirodni su događaji i odgovarajuće su nepredvidivi. Stoga je nemoguće znanstvenim metodama utvrditi, odnosno, zajamčiti apsolutnu sigurnost za osobe i materijalne vrijednosti. Kako bi se postigla maksimalna sigurnost kojoj se teži, potrebno je upotrijebiti najbolje moguće sustave zaštite. Te sustave neophodno je redovito i u prikladnom opsegu nadzirati i održavati. Pri tome, događaji koji premašuju inženjerski proračunatu sposobnost apsorpcije sustava i neprimijenjivanje originalnih dijelova ili korozija (npr. uslijed onečišćenja okoliša ili ostalih stranih utjecaja) mogu smanjiti stupanj te zaštite. U Hrvatskoj tom problemu ne pridaje se dovoljna pažnja, niti kod izgradnje novih prometnica, niti pri održavanju i rekonstrukciji postojećih. Preporuča se načelni stav nadležnih tijela državne uprave «bolje spriječiti nego liječiti», te donošenje odgovarajuće zakonske regulative i efikasniju primjenu postojeće, u dijelu u kojem je dobra.

Literatura

1. *Benac, Č. & Jurak, V. (1979): Klizište Krbavčići-1 i Krbavčići-2 kod Buzeta – inženjerskogeološki izvještaj. Fond. str. dok. Rijekaprojekt, Rijeka.*
2. *Flum, D. (2006): Ruvolum® 7.0 - Manual for the software to dimension the Tecco® slope stabilization system. E-mail: info@geobrugg.com (www.geobrugg.com).*
3. *Gerber & Roth (2004?): Flexible rockfall protection systems subjected to tree impact. Detaljne informacije na: werner.gerber@wsl.ch (andrea.roth@geobrugg.com).*
4. *Mikulić, J. & Stipetić, A. (1999): Željezničke pružne građevine – projektiranje, izgradnja i održavanje. 313 p, Inst. građ. Hrvatske, Zagreb.*
5. *Ortolan, Ž. (1995): Željeznička pruga D.G. Slovenija – Pula u km 33+1/3. Geotehnički istražni radovi s idejnim rješenjem sanacije – inženjerskogeološka istraživanja. Fond str. dok. Inst.građ. Hrvatske, Zagreb.*
6. *Pleničar, M., Polšak, D. & Šikić, D. (1965). Osnovna geološka karta Hrvatske mjerila 1:10000 s tumačom, List L33-88 Trst, Savezni geološki zavod, Beograd.*
7. *Spang, R. & Graf, N. (2001): Rockfall 6.1 – rockfall simulation program, Release: 27.11.2001., <http://www.dr-spang.de/rockfall/referenzen.html>.*

8. Šikić, D. & Pleničar, M. (1967): Tumač uz snovnu geološku kartu Hrvatske mjerila 1:10000, List L33-89 Ilirska Bistrica, Savezni geološki zavod, Beograd.
9. Šikić, D. Pleničar, M. & Šparica, M. (1967): Osnovna geološka karta Hrvatske mjerila 1:10000, List L33-89 Ilirska Bistrica, Savezni geološki zavod, Beograd.
10. Tušar, Z. & Ortolan, Ž. (1999): Geotehnički projekt i smjernice detaljnijih istraživanja klizišta 4 i 5 u km 36+4/7 na lokaciji Raspadalica kod Buzeta. Fond str. dok. Inst.građ. Hrvatske, Zagreb.

**NEZGODE I NESREĆE U PROMETU
I MJERE ZA NJIHOVO SPRJEČAVANJE**

ZBORNİK RADOVA

Nakladnik

Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti

Za nakladnika

akademik Slavko Cvetnić, glavni tajnik

Grafički urednik

Nikola Puljiz

Lektura

prof. Mirjana Zec

Korektura

Nikola Puljiz

Naklada

CIP zapis dostupan u računalnom katalogu
Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu
pod brojem 651081

ISBN 978-953-154-790-1

Zahvaljujemo svim ustanovama, poduzećima i ostalima
koji su pomogli u izradbi Zbornika radova