

## INŽENJERSKOGEOLOŠKE I STRUKTUROLOŠKE ZNAČAJKE U FUNKCIJI DOKAZIVANJA STABILNOSTI VISOKIH ZASJEKA U ČVRSTIM STIJENAMA NA PRIMJERU DIONICE POLUAUTOCESTE MC-11, SOLIN-KLIS

Karlo BRAUN,<sup>1</sup> Slobodan ŠESTANOVIĆ,<sup>2</sup> Duško BARČOT,<sup>3</sup> Ivica SAMARŽIJA<sup>3</sup>

<sup>1)</sup> Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, 41000 Zagreb, Hrvatska; <sup>2)</sup> Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu, V. Masleše bb, 58000 Split, Hrvatska; <sup>3)</sup> Institut građevinarstva Hrvatske – Poslovni centar Split, V. Masleše bb, 58000 Split, Hrvatska

**Ključne riječi:** Inženjerska geologija, Čvrste stijene, Visoki zasjeci, Stabilnost

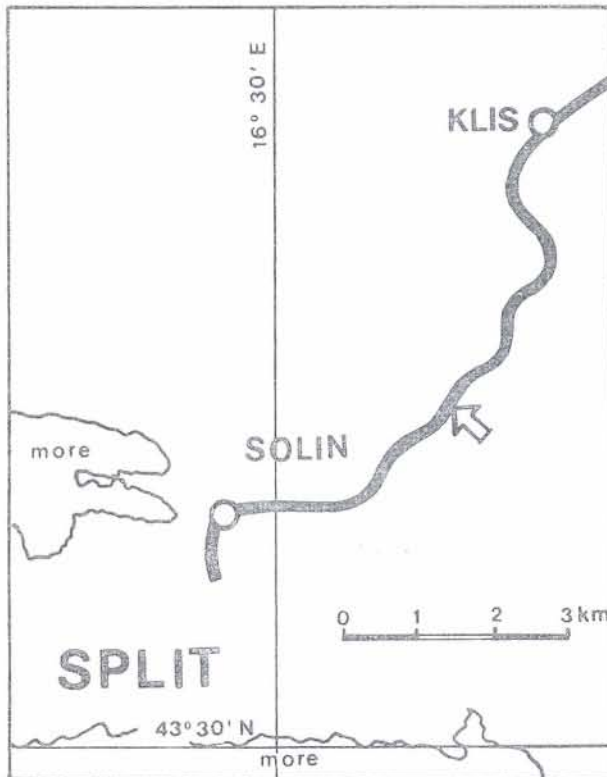
**Key-words:** Engineering geology, Solid rocks, High cuts, Slope stability

Opisane su inženjerskogeološke značajke stijena, nužne kao podloga za računanje i dokaz stabilnosti visokih zasjeka u čvrstim razlomljenim stijenama. Mjerenjem i analizom pukotinskih sustava, dobijeni su podaci za strukturno-geološku obradu. Uz pretpostavljeni i simulirani ravni lom utvrđen je nagib s kojim bi kosine zasjeka bile stabilne.

The paper deals with the engineering geological characteristics of the rock massif in charge to compute and provide the stability of high cuts in solid fractured rocks. The data for the structural geological processing have been obtained by measuring and analyzing the system of fissures. In addition to the supposed and simulated straight fracture the maximum slope of the high cut has been determined considering additional forces which were introduced into the rock mass.

### Uvod

U dijelu magistralne prometnice MC-11 od Solina do Klisa (slika 1), između stacionaža 3+253,00 i 3+428,00, izvedeni su zasjeci, čija visina iznosi od 1,0 m na početku, do 27,0 m u njihovim najvišim dijelovima. Zasjeci su označeni nazivima »GREDA-1« i »GREDA-2«.



Sl. 1 Prostorni položaj prometnice Solin-Klis s oznakom lokacije zasjeka »GREDA-1« i »GREDA-2«

Fig. 1 Spatial position of the road Solin-Klis with the location mark of the cuts »Ridge-1« and »Ridge-2«.

U fazi projektiranja obavljena su prethodna inženjerskogeološka istraživanja (Garašić i Ortolan, 1987) i detaljna (Šestanović i Barčot, 1988), čitave trase, kojom prilikom je ukazano na složenost strukturnog sklopa stijenskog masiva, posebno u odnosu na zasijecanje i, s tim u vezi, ocjenjivanje stabilnosti kosina u području zasjeka »GREDA-1« i »GREDA-2«. Na tim lokalitetima provedena su i geofizička istraživanja (Mitrović i Krsnik, 1988), a također i istražno bušenje, nakon kojeg su odabrani uzorci podvrgnuti laboratorijskim ispitivanjima.

Respektirajući inženjerskogeološke podatke zaključeno je, da se za sve visoke zasjecke izrade posebni izvedbeni projekti zaštite kosina s dokazom stabilnosti, što su, uključujući i područja zasjeka »GREDA-1« i »GREDA-2«, učinili Samaržija i Barbalić (1989). S obzirom na elemente oblikovanja čitave trase prometnice, spomenuti autori su, nakon provedenih proračuna, usvojili mogući opći nagib kosina u čvrstim stijenama 5:1 (oko 79°), kojeg je trebalo postići konturnim miniranjem, uz uvjet, da se najviša 3 m zasjeka, zbog zapažene izrazite razlomljenosti površinskog dijela stijenske mase, izvede u nagibu od 2:1 (oko 64°).

Projektom izvedbe i zaštite kosina »GREDA-1« i »GREDA-2«, bilo je predviđeno uklanjanje labilnih blokova, formiranje kosina s nagibima 5:1 i 2:1, osiguranje kosina štapnim sidrima od rebrastog čelika, oblaganje čeličnim mrežama i nanošenje sloja prskanog betona (torkreta) u debljini 8–10 cm u gornjim dijelovima zasjeka, uz ugradnju procjednica (barbakana), te izvedbe sabirnog kanala u zaleđu zasjeka s ciljem prikupljanja i evakuacije voda s pripadajućeg površinskog slivnog područja. U nožici zasjeka bio je predviđen prostor za bankinu, na kojoj bi se mogao zaustavljati sitniji, eventualno obrušeni materijal.



U fazi izvedbe zasjeka uvidom u stvarno stanje stijenskog masiva, trebalo je, na osnovi prethodnih radova, predložena projektna rješenja promijeniti, pa su provedena dodatna, detaljna inženjerskogeološka istraživanja, koja su, za tu promjenu, dala odgovarajuće podatke.

### Geotehnička osnova

#### Litostratigrafske značajke

Šire područje istražene lokacije (slika 2) izgrađuju breče s fragmentima foraminiferskog vapnenca ( $^1E_{2,3}$ ), naslage fliša ( $^3E_{2,3}$ ), »prominske« breče ( $^1E_3$ ) i oligocenske polimiktne breče (O1) (Marinčić et al., 1975, i Marinčić et al., 1977). Zasjeka »GREDA-1« i »GREDA-2« izgrađuju »prominske« breče. To su sedimenti s uglavnom slabo sortiranim fragmentima i blokovima različitih tipova vapnenaca (među kojima su nađeni i olistoliti stijena gornjo kredne starosti, veličine i preko  $2\text{ m}^3$ ), koji su dobro vezani kalkarenitskim vezivom ili kalcitnim cementom. Slojevitost je izraženija u gornjem dijelu naslaga, za razliku od donjeg, gdje su »prominske« breče gromadaste. Njihovu starost odredili su Marinčić et al. (1977) na osnovi utvrđenog kontinuiteta taloženja tih breča s flišnim naslagama. Pretpostavljena

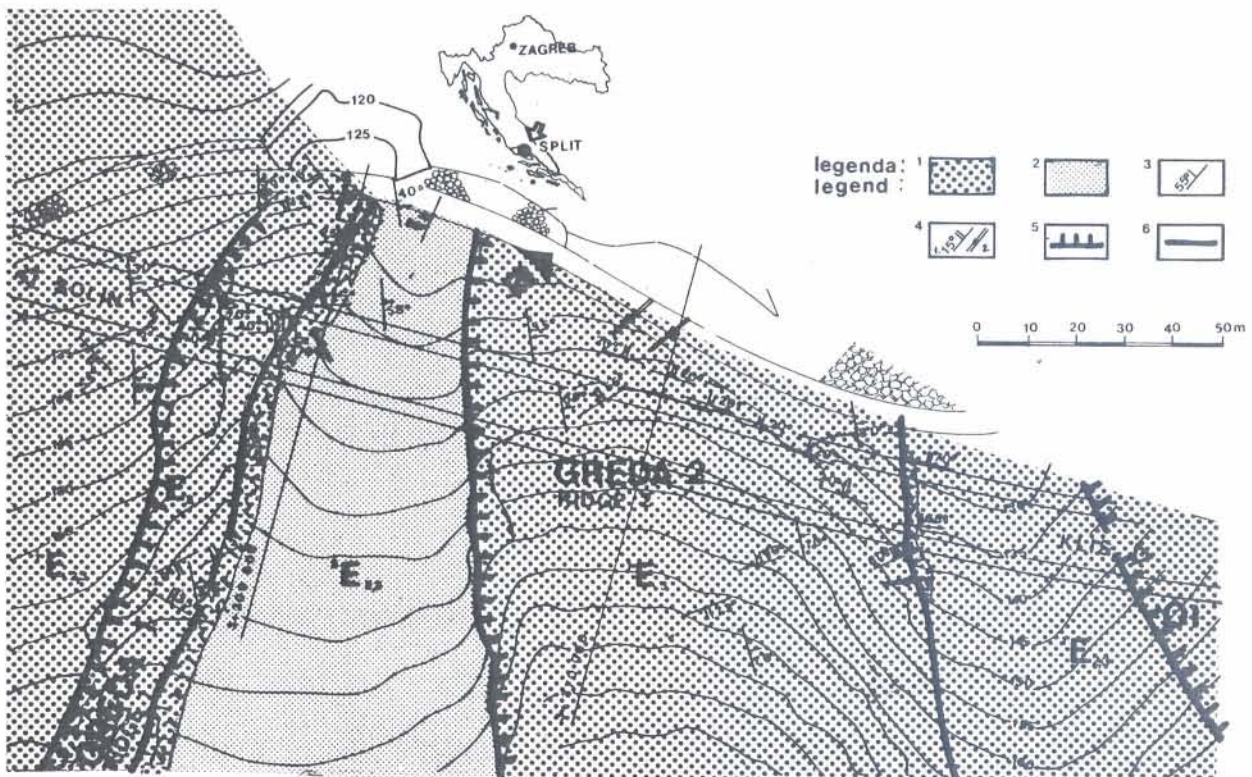
je i ista stratigrafska pripadnost naslaga kakva je utvrđena i na planini Promini.

#### Inženjerskogeološke i hidrogeološke značajke

Prilikom inženjerskogeološkog kartiranja naslage razlomljenih »prominskih« breča, breča s fragmentima foraminiferskog vapnenca i oligocenskih polimiktne breča, koje izgrađuju područja zasjeka »GREDA-1« i »GREDA-2«, ocijenjene su kao naslage, koje su u prirodnim uvjetima stabilne, a kod izvođenja građevinskih zahvata zasijecanjem mogu postati nestabilne.

Naslage fliša koje se nalaze između zasjeka »GREDA-1« i »GREDA-2«, zastupljene su glinovitim laporima, koji obično nemaju jasno vidljivu slojevitost. Ovdje su, zbog snažnog djelovanja tektonike (dinamometamorfizam), škrljave teksture s izraženim budinažom. Stijene su degradirane, te su u prirodnim uvjetima kategorizirane kao uvjetno stabilne, a kod izvođenja bilo kakvih građevinskih radova zasijecanjem, kao izrazito nestabilne.

Inženjerskogeološke karakteristike stijena, koje izgrađuju područja visokih zasjeka »GREDA-1« i »GREDA-2«, detaljnije su određene analiziranjem fizičko-mehaničkih karakteristika uzoraka iz jezgri



Sl. 2 Inženjerskogeološka karta

#### LEGENDA:

1. Naslage koje su u prirodnim uvjetima stabilne, a kod izvođenja građevinskih radova mogu postati nestabilne (breče,  $^1E_{2,3}$ ,  $^1E_3$ , O1)
2. Naslage uvjetno stabilne u prirodnim uvjetima, a izrazito nestabilne kod izvođenja bilo kakvih građevinskih zahvata (fliš,  $^3E_{2,3}$ )
3. Položaj sloja
4. Pukotine: 1. Nagnuta, 2. Vertikalna
5. Reversni rasjed
6. Normalni rasjed

Fig. 2 Engineering geological map

#### LEGEND:

1. The layers being stable under the natural conditions, which can become unstable during engineering works (breccias,  $^1E_{2,3}$ ,  $^1E_3$ , O1)
2. The layers being conditionally stable under the natural conditions, but very unstable during any engineering work (flysch,  $^3E_{2,3}$ )
3. Dip of bed
4. Fissures: 1. Inclined, 2. Vertical
5. Reverse fault
6. Normal fault



istražnih bušotina, kao i geofizičkim istraživanjima (prvenstveno primjenom refrakcijske seizmike približno duž osi trase ceste). Istražna bušotina, čiji su uzorci jezgre analizirani, locirana je u »prominskim« brečama u samoj nožici masiva »GREDA-2«, jer tehnički, nije bilo moguće smjestiti bušilicu na neposrednoj lokaciji zasjeka. Stoga su izvedena i dodatna istraživanja »in situ«, koja su dala i nove podatke za definiranje stijenskog masiva.

Geofizičkim istraživanjima primjenom metode refrakcijske seizmike dobiveni su slijedeći podaci:

- brzina uzdužnih seizmičkih valova za gornjih 7 m stijenske mase,  $v_p=920$  m/s
- brzina uzdužnih seizmičkih valova za dublji dio stijenske mase,  $v_p=2985$  m/s

Laboratorijskim analizama uzoraka stijena, bez učešća diskontinuiteta (kompaktni uzorci), dobiveni su slijedeći rezultati:

- kohezija,  $c = 32,50-85,00$  kPa
- kut unutrašnjeg trenja,  $\Phi = 20^\circ-36^\circ$  (max.  $50^\circ$ )
- prostorna masa,  $\gamma = 26,80$  kN/m<sup>3</sup>
- čvrstoća na tlak,  $\sigma_{tl} = 23,03$  MPa
- čvrstoća na vlak,  $\sigma_{vl} = (10\% \text{ od } \sigma_{tl}) = 2,30$  MPa
- sadržaj  $\text{CaCO}_3 = 98,57-99,76\%$

Prema brzinama seizmičkih valova i literaturnim podacima (Roberts, 1977, Aleksovski et al., 1988), mogli su se izračunati slijedeći, sasvim orijentacioni, parametri stijenske mase (uključujući utjecaj gustoće i karakteristike postojećih diskontinuiteta na brzinu širenja uzdužnih seizmičkih valova):

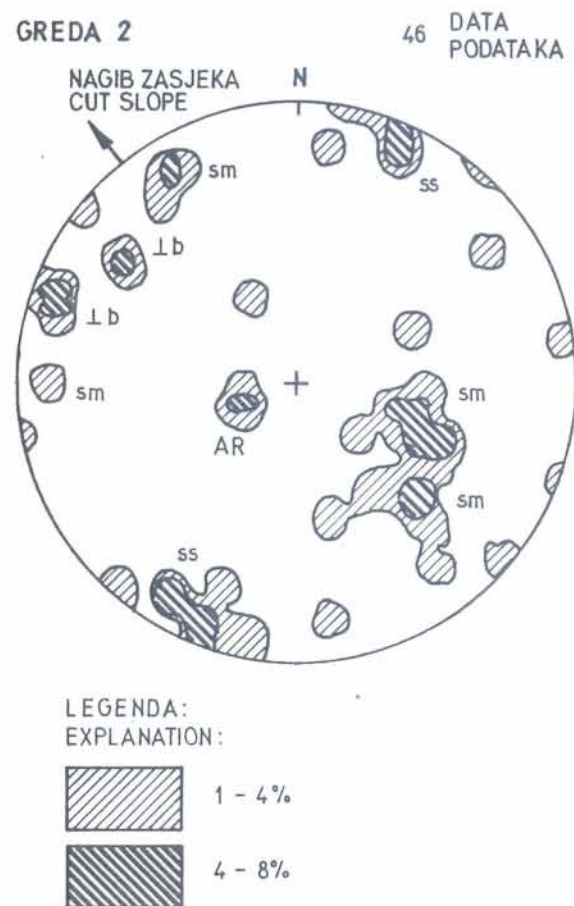
- brzina uzdužnih seizm. valova 920–2985 m/s
- procijenjena brz. popr. valova 400–1590 m/s
- Poissonov koeficijent  $\mu = 0,38-0,30$
- Dinamički modul elast.  $E_{din} = 1.180-17.600$  MPa
- Dinamički modul smic.  $G_{din} = 428-6.775$  MPa
- Jednoaksijalna tlačna čvrstoća  $q_u = 1,0-37,0$  MPa
- Kut unutrašnjeg trenja  $\Phi = 22-35^\circ$

Za kompaktniji dio stijenske mase, s brzinom uzdužnih seizmičkih valova od 2985 m/s, za analizama i proračunima dobivene podatke, visinu kosine od 30 m i dubinu vlačne pukotine od 4 m (koja je utvrđena terenskim opažanjima), proračun stabilnosti kosine po Hoek-u za ravni lom, koji je proveo S. Strelec, pokazao je da je faktor sigurnosti od preko 1,3, i za kosine nagiba  $75^\circ$ , uz nagib klizne plohe od  $50^\circ$ , za suhe i drenirane diskontinuitete bez glinovite ispune. Kako su ispitivani zasjeci u svom donjem dijelu približno uzetih karakteristika, proračun stabilnosti kosine ukazuje na to, da donji dio kosine, uz primjenu konturnog miniranja, može biti stabilan i kod nagiba 5:1.

Za gornji dio zasjeka, gdje kritični diskontinuiteti imaju glinovitu ispunu i brzina uzdužnih seizmičkih valova iznosi 920 m/s, za dobivene podatke, visinu kosine također 30 m i dubinu vlačne pukotine 4 m, glinovitu ispunu (siltozna glina, plastična i umjereno kohezivna), proračun stabilnosti za ravni lom po Hoek-u, koji je također proveo S. Strelec, pokazuje da će kosina biti stabilna samo u slučaju kada se njen nagib podudara s nagibom kritičnih diskontinuiteta.

## Sustav diskontinuiteta i njegov utjecaj na stabilnost kosine

Strukturni sklop, koji se u zasjeku »GREDA-2« mogao rekonstruirati nakon mjerenja i genetskog razlučivanja diskontinuiteta, prikazan na konturnom dijagramu izrađenom kompjutorskim programskim paketom »GEOSTRUK«, koji je licencirao D. Jamičić (slika 3), pokazuje da polovi slojevitosti (ss) imaju maksimum položaja  $19/85^\circ$ , pukotine paralelne klivažu aksijalne ravnine (AR) položaj  $76/18^\circ$ , a pukotine okomite na strukturnu os »b« ( $\perp b$ ), položaj  $110/82^\circ$ . Na istom dijagramu vidljiv je i niz drugih maksimuma, od kojih je najizrazitiji položaja  $297/47^\circ$ , koji odgovara rasjedima i pukotinama sa subhorizontalnim strijama (sm). Pukotinama smica-



Sl. 3 Konturni dijagram snimljenih diskontinuiteta u zasjeku »GREDA-2«

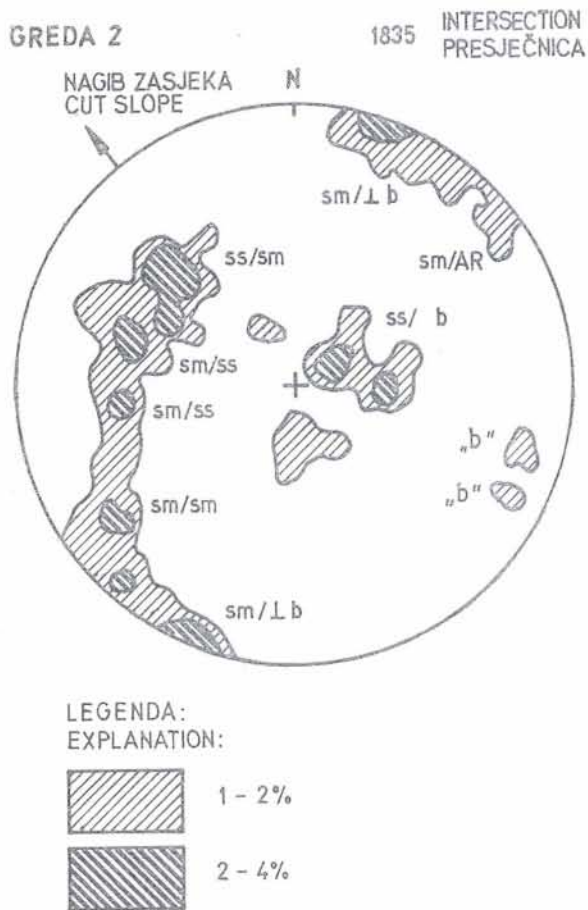
Fig. 3 Contour diagram of the measured discontinuities of the high cut »Ridge-2«

nja sa subhorizontalnim kretanjima blokova, odgovaraju i maksimumi položaja  $92/80^\circ$ ,  $151/80^\circ$ ,  $316/50^\circ$  i dr. Mnogi od izraženih maksimuma nastali su rotacijama diskontinuiteta s promjenom njihovog genetskog tipa. Može se indicirati, da na primjer, pukotine koje su primarno nastale kao okomite na strukturnu os »b«, u mladim fazama, uz promjenu orijentacije regionalnog stresa, prelaze u smične, sa subhorizontalnim kretanjima blokova, a mlada smicanja vjerojatno predisponira i slojevitost. Za ravni lom u stijenskom masivu zasjeka »GREDA-2«, s nagibom u smjeru  $323^\circ$ , referentne su pukotine smicanja koje



imaju statističke maksimume položaja 297/47° do 316/50° i subhorizontalne strije, koje te plohe čine dovoljno hrapavim da im se, prema terenskim opažanjima, u zatvorenom stanju, kut trenja povećava i do 55°.

Na »beta«-dijagramu izrađenom također kompjutorskim programskim paketom »GEOSTRUK« (sl. 4) vidljiv je položaj presječnica između različitih tipova diskontinuiteta, od kojih neke mogu biti referentne za »klinasti« lom u stijenskoj masi.

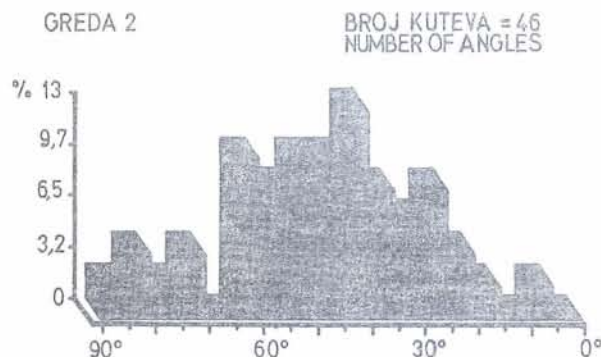


Sl. 4 »Beta«-dijagram mjerenih diskontinuiteta u zasjeku »GREDA-2«

Fig. 4 »Beta«-diagram of the measured discontinuities of the cut »Ridge-2«

Prema tom dijagramu, orijentacija strukturne osi »b« u stijenskoj masi zasjeka »GREDA-2« je 119/13°, kod čega postojanje dva submaksimuma indicira rotaciju cijelog tektonskog bloka u kojemu se zasjek nalazi. Najizrazitiji maksimumi polova presječnica između diskontinuiteta različite geneze položaja su 19/5° (sm/Lb, sm/AR), 38/15° (sm/AR), 48/10° (sm/AR), 64/75° (ss/Lb), 92/77° (ss/Lb, ss/sm), 106/14° (b), 119/13° (b), 199/5° (sm/Lb), 232/20° (sm/sm), 266/33° (sm/ss), 292/34° (ss/sm), 315/37° (ss/sm) i 325/70° (ss/sm). Od indiciranih, za stabilnost kosine zasjeka »GREDA-2« referentne su presječnice položaja između 266/30° i 315/37°. Prema genezi, kritične presječnice pripadaju presječnicama između slojevitosti i kliznog klivaža (rasjeda) smicanja sa subhorizontalnim kretanjima blokova, što znači i subhorizontalnim strijama.

Dijagram prostornih kuteva između diskontinuiteta i referentne ravnine, također dobiven programskim paketom »GEOSTRUK« (slika 5), a to je kosina zasjeka »GREDA-2« orijentacije 323/78° (5:1), pokazuje da je malo diskontinuiteta, koji imaju nepovoljan prostorni kut u odnosu na promatranu kosinu.



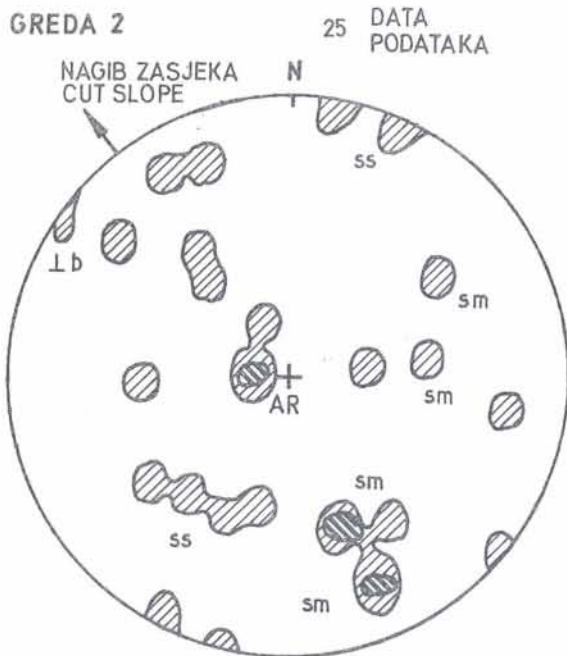
Sl. 5 Prikaz prostornih kuteva između mjerenih diskontinuiteta i zasjeka »GREDA-2« položaja 323/78°

Fig. 5 Review of the spatial angles between measured discontinuities, and the cut slope »Ridge-2« with orientation 323/78°

Na osnovi ovako provedene analize diskontinuiteta, s obzirom na njihovu genezu i morfologiju, a i mogući utjecaj na stabilnost kosine, postaje evidentno, da su klizne plohe i rasjedi smicanja sa subhorizontalnim kretanjima blokova i subhorizontalnim strijama, položaja 297/47° do 316/50°, referentne za stabilnost kosine zasjeka »GREDA-2«. Postojanje subhorizontalnih strija, plohe diskontinuiteta kliznog smičnog tipa, u zatvorenom stanju čine dovoljno hrapavim, tako da i kut trenja unutar stijenske mase bude bitno povećan. Stijenski su blokovi iznad spomenutih diskontinuiteta, prema terenskim opažanjima, stabilni kod nagiba zatvorenih pukotina strmijih i od 55°. U dijelu stijenske mase, gdje kritične pukotine imaju glinovitu ispunu i direktnog kontakta između zidova pukotina nema, za stabilnost stijenskih blokova iznad diskontinuiteta referentne su zapravo karakteristike glinovite ispune ( $\Phi \approx 22^\circ$ ,  $c \approx 10$  kPa). To je i razlog zašto su stijenski blokovi, iznad diskontinuiteta nagiba 45–50° prema cesti, u zoni okršavanja, s glinovitom ispunom, u zasjeku nestabilni, a u svježoj stijenskoj masi, s direktnim kontaktom između zidova diskontinuiteta, stabilni. Prema odnosima maksimuma položaja pojedinih karakterističnih diskontinuiteta, koji su prikazani na konturnom dijagramu njihovih polova (sl. 6) vidljivo je, da je strukturni sklop stijenskog masiva u zasjeku »GREDA-1«, u odnosu na strukturni sklop stijenskog masiva zasjeka »GREDA-2«, rotiran. Slojevitost ima maksimum položaja koji varira od 20/50° do 26/85°, vezano za rotacije uz strukturnu os »b« orijentacije 114/10°. Aksijalna ravnina i pukotine njoj paralelne su položaja 94/10°, a pukotine okomite na strukturnu os »b«, položaja 127/70°. Pukotine smicanja imaju najizrazitije maksimume položaja između 321/58° i 339/53°. Prilikom terenskih istraživanja moglo se zapaziti da su često školjkastog izgleda s »b« osi između suprotnih krila pukotine orijentacije, ili 114/10° (os »b« strukture), ili 44/9°



(presječnica između aksijalne ravnine i pukotina okomitih na strukturnu os »b«). Za stabilnost kosine zasjeka »GREDA-1«, koja je također nagnuta prema 323°, za ravni lom referentne su smične klizne pukotine sa subhorizontalnim strijama, koje, kako je to već izloženo, u zatvorenom obliku omogućavaju postizanje dovoljno visokog unutrašnjeg trenja u stijenskom masivu, da su, prema zapažanjima na terenu, blokovi iznad tih diskontinuiteta stabilni i uz nagib veći od 55°.

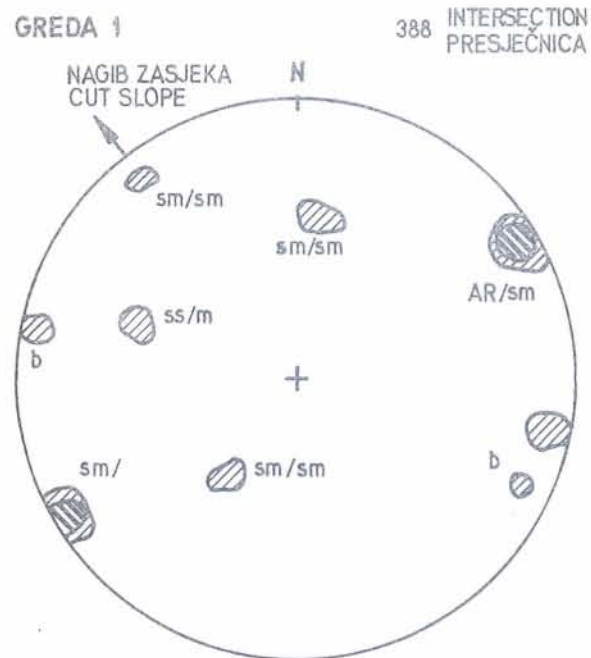


Sl. 6 Konturni dijagram snimljenih diskontinuiteta u zasjeku »GREDA-1«

Fig. 6 Contour diagram of the measured discontinuities of the high cut »Ridge-1«

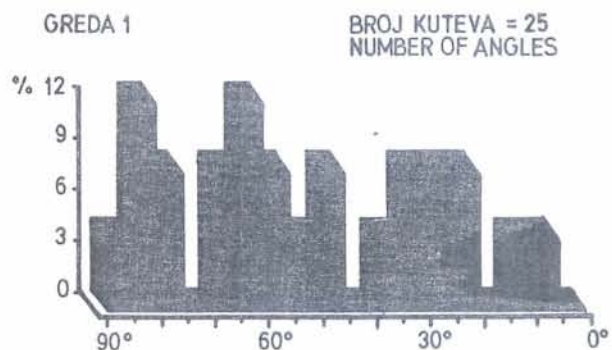
Na izrađenom »beta«-dijagramu (sl. 7) prikazan je položaj najvažnijih presječnica. Može se indicirati, da je »b« os strukture orijentacije 102/8° do 114/10° (ss/AR), a ostale, orijentacije 8/38° (sm/sm), 61/7° (AR/sm), 215/5° (sm/AR), 218/50° (sm/sm), 240/3° (AR/sm) i 290/35° (ss/sm). Za klinasti lom u zasjeku, referentne mogu biti presječnice orijentacije između 290/35° i 318/15°, čiji je nagib evidentno manji od kuta trenja unutar stijenskog masiva kod zatvorenog pukotinskog sistema.

Na dijagramu koji prikazuje prostorne kuteve između mjerenih diskontinuiteta s referentnom ravninom, odnosno kosinom zasjeka 5:1 (sl. 8) vidljivo je, da oko 4% diskontinuiteta, s obzirom na nagib zasjeka, ima nepovoljni položaj. Analizirajući dalje, može se utvrditi da su diskontinuiteti nepovoljnog položaja upravo smične, izrazito hrapave i pretežnim



Sl. 7 »Beta«-dijagram mjerenih diskontinuiteta u zasjeku »GREDA-1«

Fig. 7 »Beta«-diagram of the measured discontinuities of the cut »Ridge-1«



Sl. 8 Prikaz prostornih kuteva između mjerenih diskontinuiteta i zasjeka »GREDA-1« položaja 323/78°

Fig. 8 Review of the spatial angles between measured discontinuities, and the cut slope »Ridge-1« with orientation 323/78°

dijelom zatvorene pukotine sa subhorizontalnim vrlo dobro izraženim strijama.

Prema tome, postojanje subhorizontalnih strija kod, za stabilnost kosine zasjeka »GREDA-1« kritičnih diskontinuiteta kliznog smičnog tipa u zatvorenom stanju, svojom hrapavosti čini da kut trenja unutar stijenske mase bude bitno povećan, pa su stijenski blokovi iznad spomenutih diskontinuiteta, prema terenskim opažanjima, stabilni i kod nagiba zatvorenih pukotina strmijih i od 55°. Kao i kod zasjeka »GREDA-2«, u dijelu stijenske mase zasjeka »GREDA-1«, gdje kritične pukotine imaju



glinovitu ispunu i direktnog kontakta između zidova pukotina nema, stabilnost stijenskih blokova iznad diskontinuiteta narušena je prisustvom glinovite ispune ( $\Phi \approx 22^\circ$ ,  $c \approx 10$  kPa) što je i razlog zašto su stijenski blokovi iznad diskontinuiteta nagiba  $45\text{--}50^\circ$  prema cesti u zoni okršavanja, s glinovitom ispunom u zasjeku nestabilni, a u svježoj stijenskoj masi s direktnim kontaktom između zidova diskontinuiteta, stabilni. U zasjeku »GREDA-1«, pokazala su se, s aspekta određivanja stabilnosti, kao problematična samo dva stijenska bloka veličine  $2\text{--}3$  m<sup>3</sup> iznad smičnih kliznih diskontinuiteta zatvorenog tipa, s vrlo dobro izraženim subhorizontalnim strijama, školjkastog oblika, generalnog nagiba diskontinuiteta oko  $55^\circ$ , koji su se nalazili u vrhu zasjeka.

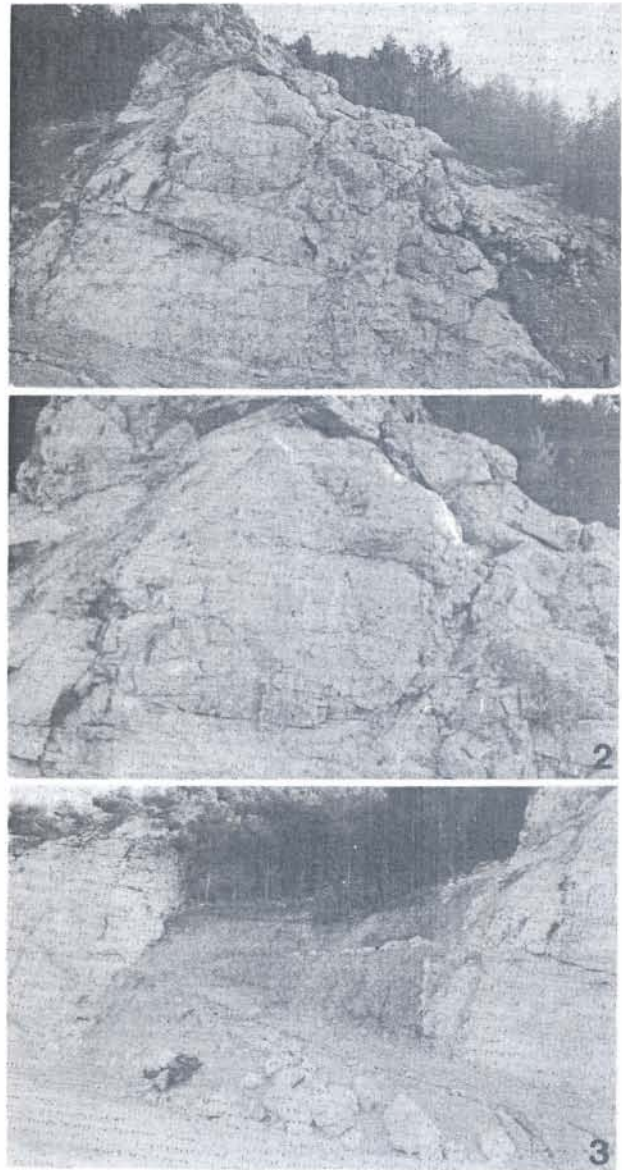
### Osnove novog rješenja oblika i zaštite kosina

U odnosu na prvotno rješenje zaštite kosina visokih zasjeka »GREDA-1« i »GREDA-2« na cesti Solin-Klis, novo rješenje nastojalo se maksimalno prilagoditi prirodnom izgledu okoliša, uz maksimalnu redukciju posebnih osiguranja, a time uštediti znatna materijalna sredstva. Kao osnovno, konstatirano je da zasjeci mogu biti u svom donjem, pretežno »masivnom« dijelu, uz primjenu konturnog miniranja, stabilni bez posebnih osiguranja i s nagibom kosine od 5:1. Kod toga se odmah, kao nepotrebna, pokazala ugradnja štapnih sidara, osobito ne s prvotno predviđenim gustim rasporedom, već je predloženo, da se umjesto toga, u najvišim dijelovima zasjeka, labilni stijenski blokovi pažljivo odstrane, što je ujedno eliminiralo i potrebu za torkretiranjem viših dijelova zasjeka.

Za zaštitu kosina od manjih lokalnih odrona stijene predložena je ugradnja zaštitne pletene pocinčane mreže. Kod toga se kod zasjeka »GREDA-2« pokazala nepotrebna i izrada bilo kakve berme, dok je kod zasjeka »GREDA-1«, izrada berme na visini zasjeka oko 8 m iznad nivelete ceste, širine oko 3,0 m, usvojena (jer je zapravo već ranije bila izvedena), s tim da se zasjek iznad berme izvodi s nagibom 3:1 (u skladu s rezultatima strukturno-geoloških istraživanja). Eventualno torkretiranje predloženo je samo uz rasjedne plohe, koje gotovo okomito presijecaju zasjek, zbog zaštite od erozije tektonizirane ispune.

Zasjek u međuprostoru između zasjeka »GREDA-1« i »GREDA-2«, izgrađen od dinamometamorfno promijenjenog fliša, saniran je ugradnjom gabiona, sa slogom, koji omogućava stabilnost kosine u flišu od 1:1, potpunu, brzu i slobodnu drenažu površinskih i podzemnih voda (čiji se izdanci nalaze unutar kosine u flišu), bez dodatnog vlaženja nožice zasjeka, a time i sprečavanjem promjene stanja konzistencije naslaga unutar fliša.

Treba naglasiti, da su kosine zasjeka »GREDA-1« i »GREDA-2« izvedene prema novom rješenju, čime su potvrđeni rezultati provedenih istraživanja. Izvedeni zasjeci u »prominskim« brečama, kao i zasjek u flišnom međuprostoru (bez osiguranja) fotografirani su (fot. 1–6).



Fot. 1 Fotografija zasjeka »GREDA-1«

Phot. 1 Photo of the cut »Ridge-1«

Fot. 2 Fotografija detalja zasjeka »GREDA-1« s jednim od krupnih blokova koji se nalazi iznad smičnog rasjeda

Phot. 2 Photo of the part of the cut »Ridge-1« with one of the big rock boulders over the transcurrent fault

Fot. 3 Fotografija tektoniziranog fliša između zasjeka »GREDA-1« i »GREDA-2«

Phot. 3 Photo of the tectonized flysch, between the cuts »Ridge-1« and »Ridge-2«





Fot. 4 Fotografija zasjeka »GREDA-2«

Phot. 4 Photo of the cut »Ridge-2«

Fot. 5 Fotografija detalja zasjeka »GREDA-2«

Phot. 5 Photo of the detail of the cut »Ridge-2«

Fot. 6 Fotografija smičnog rasjeda s ispunom zdrobljenih stijena koja je podložna eroziji

Phot. 6 Photo of the transcurrent fault with erodible filling of the tectonically crushed rock

### Zaključak

Inženjerskogeološkim istraživanjima na trasi prometnice MC-11 Solin-Klis je, uz pomoć geofizičkih metoda, rezultata istražnog bušenja i laboratorijskih ispitivanja, za potrebe izvedbenog projekta, s obzirom na zapažene karakteristike stijenskih masa u zasjecima »GREDA-1« i »GREDA-2«, predložen

projekt sanacije spomenutih zasjeka na način koji omogućava potpunu sigurnost prometa.

Izvođenjem radova prema projektu utvrđeno je da dio stijenske mase ima povoljnija svojstva od pretpostavljenih, dok se za dio moralo provesti dodatna detaljna istraživanja, da bi se moglo dati konačno rješenje u odnosu na izbor oblika zasjeka i njegovu stabilnost.

Nakon provedenih detaljnih inženjerskogeoloških istraživanja, primjenjujući metode strukturne geologije, i ocjenom realnog stanja stijenske mase »in situ«, prema klasifikacijama koje preporuča Međunarodno udruženje za mehaniku stijena (1978), predložen je nov način sanacije kosina zasjeka, tehnički jednostavniji, estetski prihvatljiviji i inženjerskogeološkim metodama, kao i računskim putem dokazan.

Novo rješenje, za sanaciju kosina zasjeka »GREDA-1« i »GREDA-2«, gotovo u cijelosti isključuje primjenu ugradnje štapnih sidara i torkretiranje nestabilnih stijenskih blokova, što je bitno utjecalo na ekonomičnost izvedbe ova dva visoka zasjeka.

Oblik zasjeka se maksimalno prilagodio prirodnim uvjetima, koji su se odredili strukturno-geološkim istraživanjima, što je omogućilo postizanje maksimalne stabilnosti i očuvanje estetskog dojma, karakterističnog za okoliš.

Postupkom stalnog praćenja karakteristika stijenskog masiva, u svim fazama (projektiranje-izvođenje), dokazana je svrsishodnost primjene određenih metoda istraživanja u funkciji postizanja veće efikasnosti, bolje ekonomičnosti i povoljnijeg estetskog efekta.

Primljeno: 13. I. 1992.

Prihvaćeno: 9. VI. 1992.

### LITERATURA

- Aleksovski, D., Mirakovski, G. (1988): Mogućnost korišćenja seizmičkih brzina za određivanje parametara deformabilnosti, otpornosti i čvrstoće stenskih masa. I. jugoslavenski simpozij o tunelima, knjiga 1, 7-16, Brioni.
- Braun, K. (1991): Mišljenje o potrebnoj sanaciji zasjeka »GREDA-1« i »GREDA-2« na trasi autoceste Solin-Klis. Arhiva IGH-Poslovni centar, Split.
- Garašić, M., Ortolan, Ž. (1987): Izvještaj o inženjerskogeološkom kartiranju trase ceste Solin-Klis. Građevinski institut, FGZ Zagreb, RN/2230-2-245626/87. Arhiva IGH-Poslovni centar, Split.
- Hoek, E., Bray, J. (1974): »Rock Slope Engineering«. Institution of Mining and Metallurgy, Gresham press, 309 str., London.
- Marinčić, S., Korolija, B., Majcen, Ž., Borović, I., Brkić, M., Hrelčić, D., Magaš, N., Benček, D., Grimani, I. (1975): Osnovna geološka karta SFRJ, list Omiš, K 33-22, 1:100.000. Savezni geološki zavod, Beograd.
- Marinčić, S., Korolija, B., Mamužić, P., Magaš, N., Majcen, Ž., Brkić, M., Benček, D. (1977): Tumač za Osnovnu geološku kartu SFRJ, list Omiš, K 33-22. Savezni geološki zavod, Beograd.
- Mitrović, G., Krsnik, M. (1988): Geofizička istraživanja za magistralnu cestu »Solin-Klis«. Građevinski institut, FGZ Zagreb, RN 2212-2-247270. Arhiva IGH-Poslovni centar, Split.
- Roberts, A. (1977): Geotechnology. Pergamon press, Oxford, New York, Toronto, Sidney, Paris, Frankfurt.

- Samarđija, I. (1991): Izvedbeni projekt zaštite pokosa zasjeka »Z-19« na stacionaži od km 3+298,00 do km 3+335,00. Institut građevinarstva Hrvatske, Poslovni centar Split, RN 2-349624, svezak C-1. Arhiva IGH-Poslovni centar, Split.
- Samarđija, I., Barbalić, I. (1989): Izvedbeni projekt zaštite pokosa zasjeka »Z-4« s dokazom stabilnosti na stacionaži od km 3+253,050 do 3+428,800. GI-FGZ Split, 39-09-7/89, svezak C-2. Arhiva IGH-Poslovni centar, Split.
- Šestanović, S., Barčot, D. (1988): Osnovne inženjerskogeološke značajke terena. Geotehnički istražni radovi za magistralnu cestu M-11, dionice Solin (Bilice)-Klis (Grlo), knjiga I – trasa, mali mostovi i podvožnjaci, GT 1. RN 3910-1-133029-46 (1)/87. Arhiva IGH-poslovni centar, Split.
- (1978): Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. International society for rock mechanics, Commission on standardization of laboratory and field tests. Pergamon press, London.

### Engineering Geological and Structural Geological Characteristics Used to Prove the Stability of High Cuts in Compact Rocks on the Road MC-11, Solin-Klis

*K. Braun, S. Šestanović, D. Barčot and I. Samarđija*

Engineering geological investigations of the road MC-11, Solin-Klis have determined the main characteristics of the deposits from the standpoint of the construction and the influence of civil engineering works to the rock mass stability. This especially refers to the parts of the road where the tunnels, high cuts and foundations of the viaducts are designed. The road has been designed in the cuts having maximum height of 27 m, made of compact deposits of »Promina«-breccias –  $^1E_3$ , on the area between km 3+253,00 and 3+428,00. The data obtained by engineering geological plotting, geophysical and laboratory investigations of the borehole core samples at the foot of the massif called Ridge-2, showed high fracture of the rock mass and an inappropriate slope of the fissures in relation to the cut. On the basis of the obtained data the design for construction and the protection of the cut slopes has been done in a way that the constructed cuts do not affect the road.

It was found out, during the construction, that the rock mass had better properties in its back than it was supposed, by which, stability computations were done and the protection design was

made. These new facts resulted in additional engineering geological and structural geological investigations with the object of finding out the real properties of the rock mass »in situ« and a simpler type of cuts and their protection.

The obtained data justified the possibility of getting a simpler solution from the engineering standpoint and aesthetically more acceptable, which was proved by computations.

For the difference to the previous solution which required a great number of short anchors and guniting of the upper parts of the cut, the new engineering solution reduces the number of the anchors and eliminates the guniting of the upper parts of the cut. The guniting of the fissure fault should be done around the km 3+300,00, which is filled with the tectonic material that could be brought out to the road surface by seepage water.

The methods applied in this research, starting from all phases of the design to the constant monitoring of the rock mass properties during construction, proves its utility in obtaining higher efficiency, economy and more appropriate aesthetic effects.