

SLOŽENO KLIZANJE U DOLINI RJEČINE

Čedomir BENAC¹, Željko ARBANAS², Branka JARDAS², Saša KASAPOVIĆ³ i Vladimir JURAK⁴¹Gradjevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, V. Cara-Emina 5, HR-51000 Rijeka, Hrvatska²Institut građevinarstva Hrvatske d.d. PC Rijeka, Vukovarska 10a, HR-51000 Rijeka, Hrvatska³MOHO d.o.o., Sv. Mateja 19, HR-10000 Zagreb, Hrvatska⁴Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska**Ključne riječi:** Stabilnost padine, Klizište, Fliš, Rijeka**Key words:** Slope stability, Landslide, Flysch, Rijeka

U radu su prikazani rezultati istraživanja prve faze složenog klizišta na sjeveroistočnoj padini doline Rječine između brane Valići i naselja Pašac. Bokovi doline oblikovani su u paleogenskom flišu i kvartarnim padinskim tvorevinama. Na vrhovima su zastupljene vapnenačke stijene tvoreći litice. Nastanak istražene kompleksne pojave klizišta predodređen je geološkom gradom i morfogenezom doline Rječine. To je složeno retrogresivno klizište, koje se počelo razvijati od stope prema vrhu kosine. Na padini je otkriveno 13 pojedinačnih kliznih tijela. Klizanjem je zahvaćen materijal padinskih tvorevina i dio kore fizičko-kemijskog raspadanja. Veći dio kliznog tijela saturiran je podzemnom vodom koja se procjeđuje kroz pokrivač po kontaktu s nepropusnom flišnom podlogom. Klizanje je relativno plitko budući da u hidrotehničkom tunelu, koji se nalazi ispod nožice klizišta, nisu uočena oštećenja prouzročena klizanjem. Pokrenuti su i megablokovi vapnenačke stijene koji, najvjerojatnije, klize po flišnoj podlozi. To je posebna pojava, netipična za klizišta na flišnim padinama u široj okolici Rijeke. Vapnenačka stijena na litici je jako dezintegrirana, a u njoj su vidljive svježe pukotine. Istraživanja su se sastojala od geodetskih mjerenja, geofizičkih, inženjerskogeoloških i geotehničkih istraživanja. Geodetsko snimanje obavljeno je metodom terestičke fotogrametrije. Rezultati su uspoređeni s aéro-snimcima učinjenim godine 1981. Tako su se mogle otkriti promjene morfologije padine u razdoblju od 1981. do 1997. godine. Fotoskice su korištene i za dopunu inženjerskogeološkog kartiranja. Geofizičko mjerenje je obavljeno metodom plitkog seizmičko-refrakcijskog profiliranja.

This paper presents the first phase investigation results of the complex landslide situated on north-eastern slope of the Rječina valley, between Valići dam and the village of Pašac. The valley slopes were formed in Paleogene flysch and Quaternary formations. The limestone rocks are present on the top sites, forming the scarps there. The complex landslide formation has been preconditioned by the geological structure and morphogenesis of the Rječina valley. This is the type of complex retrogressive landslide, starting with its development from toe to head. Thirteen individual landslide bodies were discovered on the slope. The material of slope formation and a part of weathering zone is caught by the landsliding. The larger part of landslide body is saturated by underground water penetrating through the covering zone in contact with flysch bedrock. The landsliding is relatively shallow, because there is no visible damage affected by sliding in the hydrotechnical tunnel, situated below the landslide toe. The megablocks of the limestone rock have also been moved and, most probably, are sliding down the flysch bedrock. This is a special phenomenon, atypical of the flysch slope landslide type in the area of Rijeka. The limestone rock on a scarp is extremely disintegrated, with new visible fractures in it. The site investigations comprised the surveying, seismic and engineering geological explorations. The surveying was performed by the method of terrestrial photogrammetry. The results are compared with aerial photos from 1981. In this respect, it was possible to discover the changes of slope morphology during the period 1981-1997. The photos were also used for the engineering geological mapping supplementation. The seismic surveying was performed by the surface seismic refraction method.

Uvod

Iako sjeverno zaleđe Riječkog zaljeva obiluje padalinama, jedini stalni vodotok je Rječina. Njezin površinski tok ima duljinu 17,5 km od izvora u podnožju rubnih planina Gorskog kotara do ušća u Riječki zaljev u samom središtu Rijeke (sl. 1).

U svom gornjem i srednjem toku Rječina teče kroz dolinu čiji su bokovi oblikovani u flišu i padinskim tvorevinama, a na vrhovima su zastupljene vapnenačke stijene tvoreći litice. Na uzvodnom dijelu doline izgrađena je akumulacija Valići, dok se nizvodni dio, kod naselja Pašac, naglo sužava u kanjon, kojim Rječina teče do grada Rijeke. Obje strane doline Rječine, između brane Valići i naselja Pašac, na granici su stabilnog ravnotežnog stanja, pa je tijekom ovoga stoljeća zabilježeno nekoliko većih klizišta.

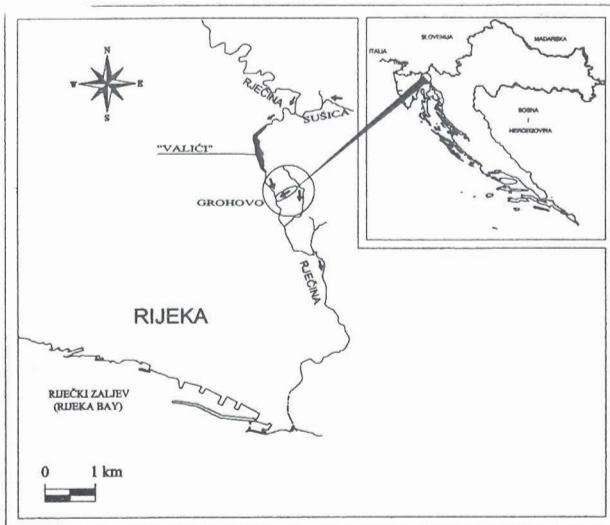
Pojava posljednjeg većeg pomicanja terena primijećena je 5. prosinca 1996. na sjeveroistočnoj padini i nasuprot naselja Grohovo, a već slijedećeg dana klizanjem je, gotovo u cijelosti, pregrađeno korito Rječine. Nakon pomicanja inicijalnog kliznog tijela, došlo je do retrogresivnog napredovanja klizanja do vrha padine kao i tvorbe manjih bočnih klizišta. Na kraju procesa, pokrenuti su izolirani vapnenački megablokovi, a otvorile su se i pukotine u stijeni na vrhu padine (fot.) Klizanja na padini događala su se etapno, a u potpunosti nisu završena niti godinu dana nakon njihovog početka. I dalje se primjećuju manji pokreti masa, a pogotovo otvaranje novih pukotina u siparu kao i ispadanje blokova s vapnenačkih litica.

Istraživano klizište nije mlada pojava. Klizanja na padini zbivaju se barem devedesetak godina. Izmjenjivale su se faze klizanja, smirivanja i ponovnih klizanja dijelova padine. Međutim, u prosincu 1996. klizanjem je zahvaćen i do tada umireni dio padine. Ispod današnjeg klizišta još je godine 1912. iskopan tunel u koji su položene vodovodne cijevi, jer su ondašnji graditelji uočili pojave nestabilnosti terena na tom mjestu. Posljednjih desetljeća, u nožici klizišta zapažaju se česti pomaci klizne mase u korito Rječine, koje je zato moralo biti povremeno čišćeno.

Iako se radi o pojavi nestabilnosti koja u dugom razdoblju ugrožava tok Rječine, tek se sada prišlo ozbiljnijem istraživanju. S obzirom na veličinu i složenost pojave istraživački radovi će se izvoditi etapno. U ovom radu prikazani su rezultati istraživanja prve faze.

Istraživački radovi

Prva faza istraživačkih radova sastojala se od geodetskih mjerenja, geofizičkih i inženjerskogeoloških istraživanja. Geodetsko snimanje obavljeno je metodom terestičke fotogrametrije čemu je pogodovala konfiguracija terena. Rezultati su uspoređeni s aéro snimcima učinjenim godine 1981. Tako su se mogle ustanoviti promjene morfologije padine u razdoblju od 1981. do 1997. Fotoskice su korištene i za dopunu inženjerskogeološkog kartiranja. Rezultati analiza fotoskica i kartiranja pomoću analitičkog stereoinstrumenta prenešeni



Sl. 1. Karta šireg područja klizišta

Fig. 1. Location map

su na već izrađeni 2D model padine, pa je postignuta točnost istovjetna topografskom modelu. Geofizička mjerenja obavljena su na tri profila položenim usporedno izohipsama kao i jednom profilu smještenom okomito na njih, odnosno približno poprečno i uzdužno u odnosu na os klizišta.

Prvom fazom istraživanja ustanovljen je geološki okvir pojave nestabilnosti vezan za strukturnotektonsku građu i morfogenezu padine. Na karti mjerila 1:1000 okontureni su nestabilni dijelovi padine, uočene razlike u tipu nestabilnosti kao i u veličini pomaka klizne mase. Na temelju analize geodetskog mjerenja, geološkog kartiranja i geofizičkih mjerenja procijenjena je debljina pokrenute ključne mase i pretpostavljene klizne plohe unutar kompleksnog kliznog tijela. Također, dobivene su indicacije mogućeg djelovanja podzemne vode na proces klizanja. Postavljeni su geodetski reperi za dugoročno instrumentalno praćenje pomaka na padini.

Geološka građa

Struktura Lopača–Pašac–Orehovica, koja obuhvaća i istraženi dio doline Rječine od Lopače do Pašca, dio je uklještena sinklinale što se proteže pravcem: dolina Rječine–Sušačka draga–Bakarski zaljev–Vinodol. Struktura Lopača–Pašac–Orehovica, ranije se smatrala flišnom sinklinalom, odnosno nekom vrstom tektonske grabe ograničene reversnim rasjedom sa sjeveroistočne strane. Matičnu stijenu flišnog kompleksa odlikuje velika litološka heterogenost zbog čestog vertikalnog i lateralnog izmjenjivanja raznovrsnih litoloških članova. To su pretežito glinoviti do kalcitni siltiti i šejlovi s proslojcima do lećama sitnozrnastih pješčenjaka (grauvake), a u podređenom udjelu lapori, konglomerati i vapnenci. Učešće pješčenjačke komponente smanjuje se od područja Valići prema Bakru (Šikić et al., 1972; Šikić & Pleničar, 1975; Biondić et al., 1975). U skladu s novijim interpretacijama tektonike (Herak, 1991; Prelogović et al., 1995) navedena struktura Lopača–Pašac–Orehovica smatra se tektonskim oknom između navlake Rječina–Grobnik–Čavle sa sjeverozapadne i navlake Katarina–Trsat sa jugoistočne strane. Rubna, jugozapadna strana navlake Rječina–Grobnik–Čavle razbijena je u više blokova (Biondić, 1988). Detaljnim geofizičkim istraživanjima spomenutih pojava fliša sjeveroistočno od doline Rječine, potvrđen je vertikalni kontakt karbonatnog i

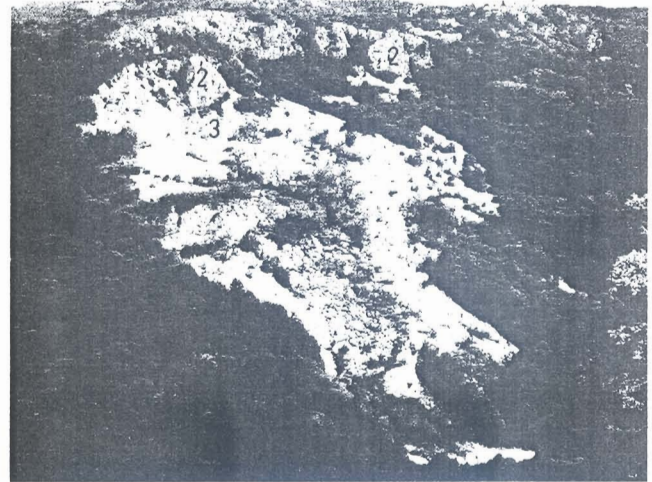


Foto: Padina nakon klizanja (prosinac 1996.)

- 1 – razrahljena stjenska masa
- 2 – megablok
- 3 – čelo klizišta

Photo: The slope after the landslide (December 1996)

- 1 – desintegrated rock mass
- 2 – megablock
- 3 – head of the landslide

flišnog kompleksa kao i povezanost istisnute flišne mase na površini s podinom. Navlaka Katarina–Trsat ranije je smatrana autohtonom strukturom. Međutim, pojave naslaga fliša na Drenovi i Kozali kao i u Škurinjskoj dragi, te rezultati hidrogeoloških istraživanja, ukazuju na alohtoni položaj te strukture (Biondić & Goatti, 1984).

Podvlačenje Jadranske karbonatne platforme pod Dinaride u izravnoj je svezi s tektogeneom šireg prostora. Pokreti početkom oligocena prouzročili su tektonsko suženje šireg područja te tvorbu navlaka i reversnih struktura. Takva tektonska zbivanja prouzročila su navlačenje vapnenačke na flišnu stjensku masu. Zato se na vrhu padine nalaze vapnenci, a fliš hipsometrijski niže, uključivo i dno doline. U skladu s takvom interpretacijom, vapnenačke litice na sjeveroistočnoj strani doline su, vjerojatno, rub navlake (sl. 2). Kontakt s vapnenačkim kompleksom na jugozapadnoj strani doline je također rub tektonskog okna ili, možda, reversni rasjed nepoznatog nagiba paraklaze. Naime, duž sinklinalne strukture dolina Rječine–Bakarski zaljev–Vinodol ustanovljeni su različiti strukturni oblici rasjedanja (Kleiner et al., 1978; Biondić et al., 1978; Vulić & Cesarec, 1989; Magdalenić et al., 1992; Arbanas et al., 1994).

Bez obzira radi li se o rasjednom kontaktu između flišnog i karbonatnog kompleksa, ili pak o navlačenju karbonatnih blokova preko fliša, kinematika strukturnih elemenata cijele tektonske jedinice Klana–Bakar–Vinodol svodi se, u osnovi, na odnos krutog (karbonatne stijene) i relativno plastičnog (fliš) medija tijekom istodobnog deformiranja. Isto je i sa spomenutom strukturom Valići–Pašac–Orehovica. Prilikom takvih tektonskih deformacija flišni stjenski kompleks predstavlja uklješteni blok između karbonatnih blokova sa sjeveroistočne i jugozapadne strane.

Smatra se da je zbog promjene smjera kretanja Jadranske ploče prema sjeveru od sredine miocena došlo i do promjene smjera globalnog stresa od SZ–JI na S–J što je prouzročilo rotacije riječkog područja prema jugu

i jugozapadu (Prelogović et al., 1995). Poremećene su starije strukture pomicanjem blokova po paraklazama poprečnih i dijagonalnih rasjeda. Blokovi su se pomicali duž desnih transkurentnih rasjeda. Učinci deformacija najizraženiji su upravo na dodiru karbonatnog i flišnog kompleksa. Zato se relativno kruti karbonatni blokovi utiskuju u plastičnije naslage fliša. Na taj način je nekad ravnocrtno čelo navlake poprimilo nazubljen izgled.

Morfogeneza padine

Paleoreljef je bio, vjerojatno, nešto drugačiji. Razlog su kontrastni neotektonski pokreti praćeni stalnim, iako možebitno skokovitim, spuštanjima dna uklještena sinklinale i izdizanjem okolnog terena (Prelogović et al., 1981). Denivelacija reljefa, prouzročena izdizanjem blokova, stvorila je višak mase na izdignutim i nedostatak na spuštenim dijelovima terena. To je predisponiralo mogućnost gravitacijskog nalijeganja karbonatnoga na flišni stjenski kompleks. Takve pojave ustanovljene su na istočnim padinama Učke (Mihljević, 1998).

Zbog izrazitih tektonskih deformacija, dodatno pojačanih promjenama polja naprezanja uslijed promjena regionalnog stresa, vapnenačka stjenska masa višekratno je rasjednuta i izrazito raspucala što je omogućilo odvajanje megablokova i dezintegraciju (usitnjavanje) stjenske mase te nakupljanje siparnog materijala u njihovom podnožju. Za razliku od vapnenačkoga, flišni stjenski kompleks je uslijed djelovanja egzogenetskih sila znatno podložniji dekompoziciji (kemijskom raspadanju). To se osobito odnosi na glinovite kalcitične siltite i šejlove koji prevladavaju u flišnom kompleksu. Radi toga je u naslagama fliša nastala zaglinjena kora fizičko-kemijskog raspadanja. S vremenom su pomiješani krupnozrnasti fragmenti podrijetlom iz sipara s glinom iz kore raspadanja fliša. Nastale su koluvijalno-deluvijalne tvorevine višemetarske debljine. Zbog osobito intenzivne dezintegracije vapnenačke stjenske mase na vrhu istražene padine, podno litica nastala je mlađa generacija sipara. Prepoznatljiva je po zastupljenosti uglavnom stjenovitog materijala bez glinovitih primjesa iz kore raspadanja fliša.

Energija reljefa mijenjala se u skladu s neotektonskim pokretima kao i promjenama lokalne erozijske baze, odnosno položaja korita Rječine. Radi toga se intenzitet erozije često mijenjao. Probojem toka Rječine kroz današnji nizvodni kanjonski dio, zbog rascjepa nastalih vrlo naglim neotektonskim pomacima, bitno je snižena erozijska baza (Benac, 1996). To je izazvalo naglo usijecanje korita Rječine u fliš, kao i povećanje nagiba padine. Dokazi su vidljivi u, danas, visoko smještenim riječnim terasama uzvodno od Valića, odnosno naselja Lukeži. Povećanje nagiba padine prouzročilo je pojačano odvajanje karbonatnih blokova od krovinskog krila rasjeda ili čela navlake te njihovo gravitacijsko klizanje (sl. 2).

Opisani morfogenetski razvoj vjerojatno se nije zbivao kontinuirano, već skokovito, pa je bilo razdoblja intenzivnijeg i slabijeg nakupljanja materijala. Zbivanja su bila uvjetovana tektonskim i seizmičkim silama, kao i klimatskim promjenama. Za razliku od drugih udolina oblikovanih u flišu, kao što su Sušačka draga i Vinodolska dolina, ovdje nisu rasprostranjene siparne breče kao trag starijih morfogenetskih etapa. Mogu se razlikovati pretežito nevezane padinske tvorevine (kameni odlomci do blokovi) od onih vezanih (blokovi do odlomci

pomiješani s glinom), što je posljedica različitih morfogenetskih stadija. Osim toga, u koluvijalno-deluvijalnom materijalu i nevezanom siparu vrlo su česti blokovi metarskih dimenzija, što je rijetkost na drugim padinama oblikovanim u flišu. To je potvrda da je morfološka evolucija padine bila znatno kraća negoli na drugim lokacijama slične geološke građe.

Opis klizišta

Istraživačkim radovima na padini uz korito Rječine ustanovljeno je da je nastalo kompleksno klizište koje se sastoji od više kliznih tijela. Granice između pojedinih kliznih tijela većinom su dobro uočljive. U biti, radi se o nekoliko različitih tipova kliznih tijela (sl. 3). To su:

- inicijalno (primarno) klizište (I)
- klizišta u siparu (II)
- bočna klizišta u zemljanom materijalu (III)
- reaktivirano klizište (IV)
- pomicanja vapnenačkih megablokova (V)

Prosječni nagib padine je 17°, s rasponom od 15° do 24°. Litice na vrhu padine mjestimice su vertikalne. Geometrijski elementi klizišta su navedeni prema preporukama Komisije za klizišta Međunarodnog udruženja za inženjersku geologiju (IAEG, 1990):

- ukupna dužina klizišta od čela do nožice $L = 425$ m
- dužina pokrenute mase $L_d = 420$ m
- najveća dužina klizne plohe $L_r = 405$ m
- najveća širina pokrenute mase $W_d = 200$ m
- najveća širina klizne plohe $W_r = 200$ m
- debljina pokrenutog materijala $D_d = 3-20$ m
- najveća dubina klizne plohe $D_r = 3-15$ (20) m
- visinska razlika od čela do nožice klizišta $\Delta H = 165$ m.

U klizištu je evidentirano 13 pojedinačnih kliznih tijela. Navedenim pojavama na padini pridodaje se još i blokovsko klizište kao i klizište u nastajanju.

Inicijalno klizno tijelo najviše je pokrenuto što je vidljivo po prijašnjem dosegu pokrenutog materijala u koritu Rječine, kao i poleglim stablima. Zbog veličine pomaka (do 20 m) potpuno je poremećen prijašnji odnos naslaga. Klizna ploha nastala je na kontaktu padinskih tvorevina i osnovne stijene – fliša, tj. na paleoreljefu. Materijal u kliznom tijelu pretežito je glinovit, iako se u različitom omjeru susreću odlomci vapnenačkog podrijetla pa čak i blokovi veći od 1 m. Klizno tijelo gotovo je potpuno saturirano vodom.

Klizišta u siparu sežu sve do podnožja vapnenačkih megablokova pri vrhu padine. Materijal kliznog tijela čine pretežito nevezani do slabovezani odlomci do blokovi vapnenačkog podrijetla. Vidljivi su jasni ožiljci u čelu pojedinačnih kliznih tijela visine do 10 m (sl. 3). Pokreti masa u siparnom materijalu nisu bili osobito veliki (horizontalna komponenta pomaka najčešće oko 1 m). Iznimka je hipsometrijski niži dio kao i jugoistočni rub gdje se nevezana masa naprosto obrušila oko 0,3 m niz padinu. Otvorene vlačne pukotine između blokova teže su zamjetljive zbog brzog zatvaranja zijeva. Jasno su vidljive u zoni pretežito glinovitog materijala.

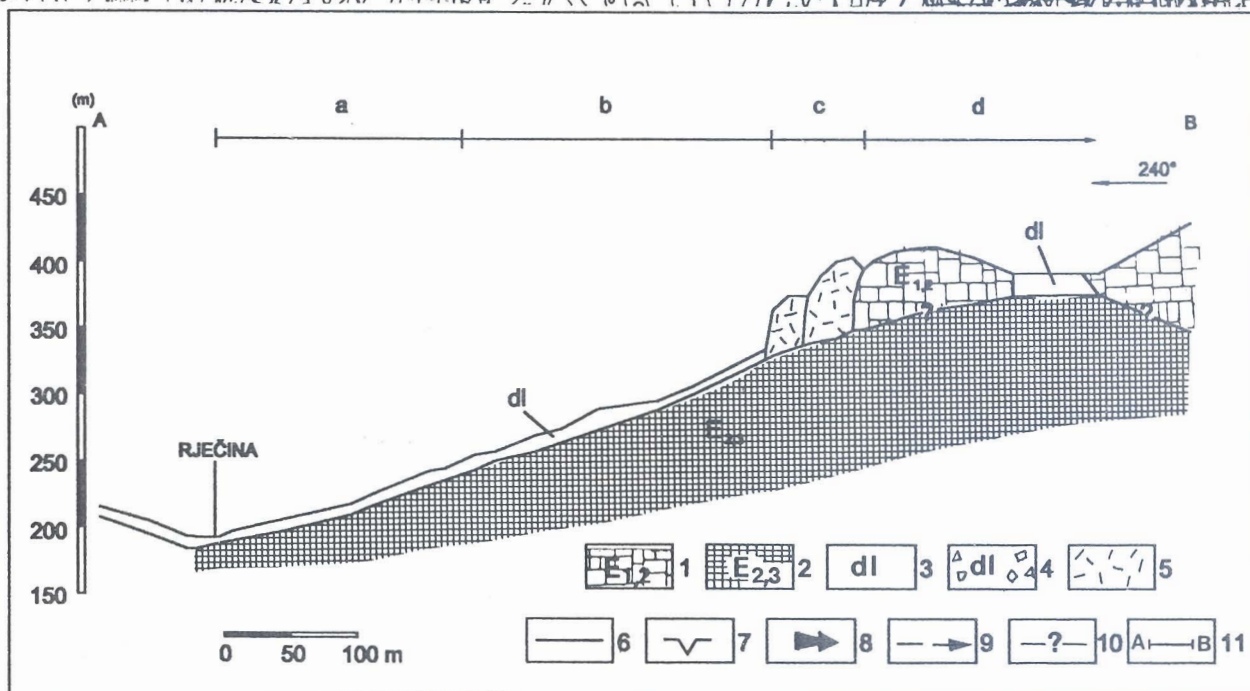
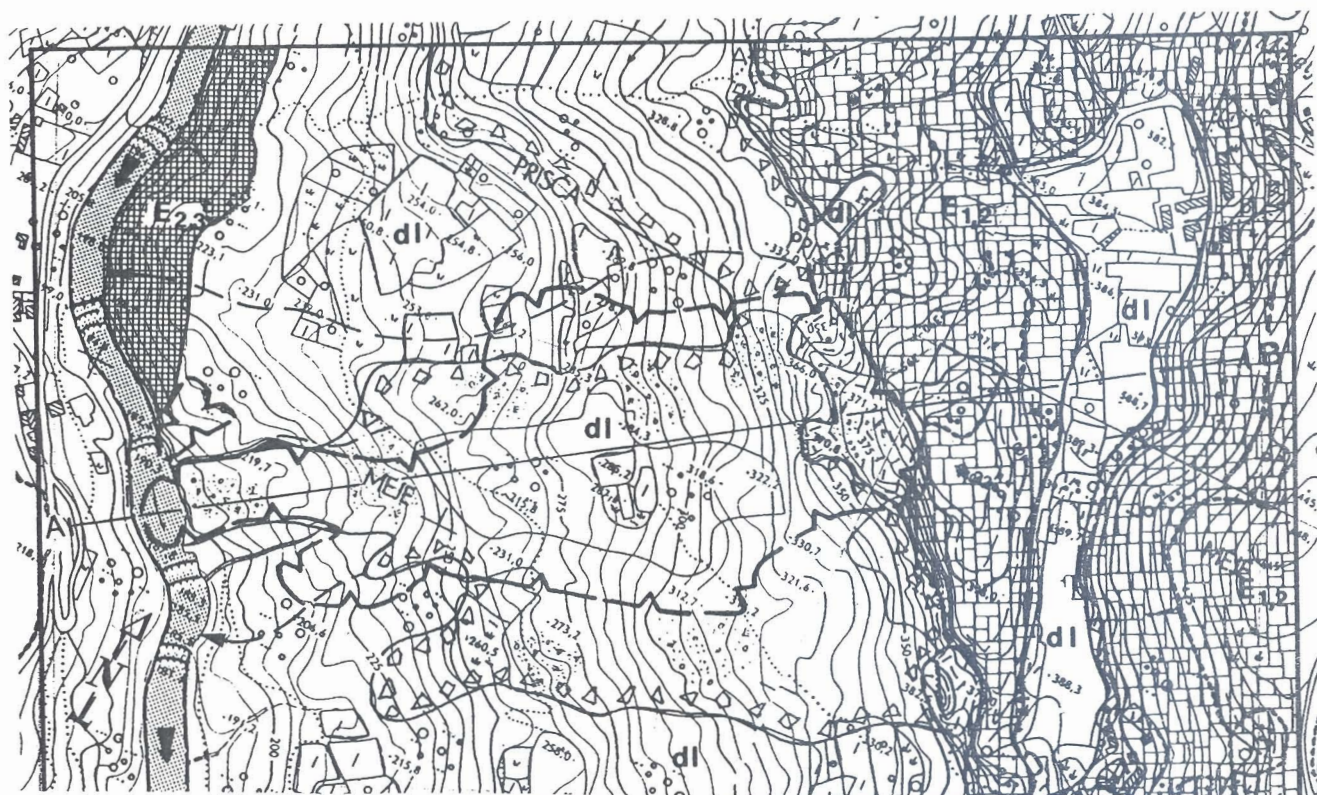
Bočna klizišta u glinovitom materijalu su nastala, vjerojatno, najkasnije. Po svom obliku i značajkama su »tipična« klizišta na flišnim padinama. Pokret kliznog tijela je mali (< 1 m), unutar kliznog tijela su dobro vidljive vlačne pukotine širine do 0,3 m. U nožici je došlo do najahivanja materijala na nepokrenutu podlogu. Klizna ploha je, vjerojatno, samo djelomice predisponirana paleoreljefom.

Reaktivirano klizište nalazi se bočno, uz rub korita Rječine. Klizanje se zbilo unutar vezanih koluvijalno-deluvijalnih tvorevina (mješavina blokova i gline). Klizno tijelo se »prelilo« preko banka pješčenjaka u korito Rječine.

Pomaci megablokova, odvojenih od vapnenačke stjenske mase, posebna su pojava, netipična za geodinamičke događaje na flišnim padinama u široj okolici Rijeke. Blokovi, najvjerojatnije, klize po flišnoj podlozi. Kontakt

sa stjenskom masom podno litice kao i međusobne granice, maskirani su siparima. Vapnenačka stjenska masa na litici je izrazito dezintegrirana. Vidljive su brojne otvorene pukotine. Neke od njih mogu se pratiti sve do udoline na sjeveroistočnoj strani. Ta pojava može se smatrati klizištem u nastajanju (sl. 3).

Geofizičkim mjerenjima izdvojene su sredine različitih brzina, a njihove promjene i položaj granica dovoljno jasno razlučuje pokrenuti od stabilnog dijela



padine. Brzine uzdužnih seizmičkih valova u slabovezanom do nevezanom siparu su od 300 do 600 m/s, a u vezanom siparu i kori fizičko-kemijskog raspadanja matične stijene do 900 m/s. Brzine u nepokrenutom dijelu kore raspadanja su od 1000 do 1430 m/s, a u relativno svježem flišnom kompleksu - refraktoru preko 2000 m/s. Jedino u tektonski oštećenim zonama fliša brzine su između 1200 i 2000 m/s. Različite brzine uzdužnih seizmičkih valova u refraktoru ukazuju na promjene litološkog sastava.

Padina zahvaćena klizanjem izrazite je filtracijske anizotropnosti. Tok vode u nevezanim siparima je izrazito velik, a u vezanim siparima pretežito malen. Deluvijalno-koluvijalne tvorevine i kora fizičko-kemijskog raspadanja lokalno mogu akumulirati hipodermičku podzemnu vodu, bilo izravnim upijanjem padalina ili prihranjivanjem iz karbonatnog masiva na vrhu, što ovisi o položaju tektonskog kontakta s naslagama fliša. Tečenje vode kroz tlo najčešće se događa u pokrivaču, po dodiru s nepropusnom flišnom podlogom. Podzemna voda istječe uz korito Rječine. Količina vode u pokrivaču varira ovisno o klimatskim prilikama, pa te naslage mogu biti potpuno saturirane nakon dužeg kišnog razdoblja. Tada se obično javlja i površinsko tečenje. Smjer toka vode predisponiran je paleoreljefom flišne podloge. Čini se da se upravo u zoni inicijalnog klizišta nakuplja najviše hipodermičke vode. To je vidljivo po malim izvorima u nožici klizišta koji ostaju aktivni i nakon dužih sušnih razdoblja. Prisutnost vode u pokrivaču najčešće ima dvostruki učinak: povećava vlažnost glinovitog materijala i tako mu mijenja konzistenciju, a strujni tlak vode pojačava sile koje uzrokuju pokrete masa niz padinu.

Usporedbom geodetskih podloga izrađenih na temelju aero-snimaka iz godine 1981. i terestičkih snimaka iz godine 1998. jasno su vidljivi pomaci i nedostatak materijala u gornjim dijelovima padine te popunjavanje njezinih nižih dijelova. To je posebice izraženo u inicijalnom kliznom tijelu u nožici padine (sl. 4 i 5). Usporedbom geodetskih podloga vidljivi su pomaci i na dijelovima padine koji nisu zahvaćeni sadašnjim klizanjem. Vijugav ocrt izohipsa i promjena nagiba tipičan su znak umirenih klizišta.

Prema prihvaćenim klasifikacijama opisano klizište na sjeverozapadnoj padini iznad Rječine je složena pojava klizišta: višestruko retrogresivno klizište, koje je počelo od stope prema vrhu kosine, kao i blokovsko klizište. Budući da je geološka građa uvjetovala položaj klizne plohe, to je ujedno i translacijsko klizište (Nonveiller, 1987), odnosno konsekventno klizište, ali i

blokovsko klizište tipa III b (Antione & Giraud 1995).

Mehanizam klizanja

Mehanizam klizanja predodređen je geološkom građom kao i hidrogeološkim odnosima na lokaciji. Prema geofizičkim mjerenjima vrijednosti parametara čvrstoće na smicanje znatno su više u stjenjnoj podlozi – flišu od onih u pokrivaču. Osim toga, parametri čvrstoće materijala pokrivača ovisni su o sadržaju vode u tlu, pa se, zavisno o hidrogeološkim prilikama, mijenja i faktor sigurnosti padine. Klizanje je počelo neposredno uz samo korito Rječine u, vjerojatno, drukčijim prilikama od današnjih. Naime, korito Rječine bilo je, vjerojatno, na višoj koti od današnjeg. Erozijski vodotok produbljavao je korito i tako podlokavala podnožje padine. Taj proces pridonosi smanjenju faktora sigurnosti padine. U razdobljima visokih vodostaja Rječine, koji su se pojavljivali prije regulacije korita i izgradnje akumulacije Valići, poplavljena je nožica padine. Zbog smanjenja vertikalnih naprezanja smanjena je čvrstoća u potopljenom dijelu nožice i padine. Također je smanjena kohezija zbog povećanja vlažnosti i prijelaza u plastično do žitko stanje konzistencije. Vrijednost faktora sigurnosti mijenjao se tijekom vremena s prosječnim dugoročnim negativnim trendom (Popescu, 1994). Čvrstoća se s vremenom smanjila do te mjere da je klizanje počelo na mjestu današnjeg inicijalnog klizišta. Ono je u početku bilo znatno manjih dimenzija od sadašnjeg kliznog tijela. Klizište bi se umirilo nakon zauzimanja novog stabilnog položaja kao i povećanja čvrstoće na smicanje zbog gubitka vlage u sušnom razdoblju. Otvaranje novih pukotina na padini omogućilo je infiltraciju oborinske vode u klizno tijelo. To je prouzročilo razmekšavanje glinovitog materijala u pokrivaču te degradaciju fliša. Posljedica je bila pad čvrstoće na smicanje i nastanak novih kliznih ploha.

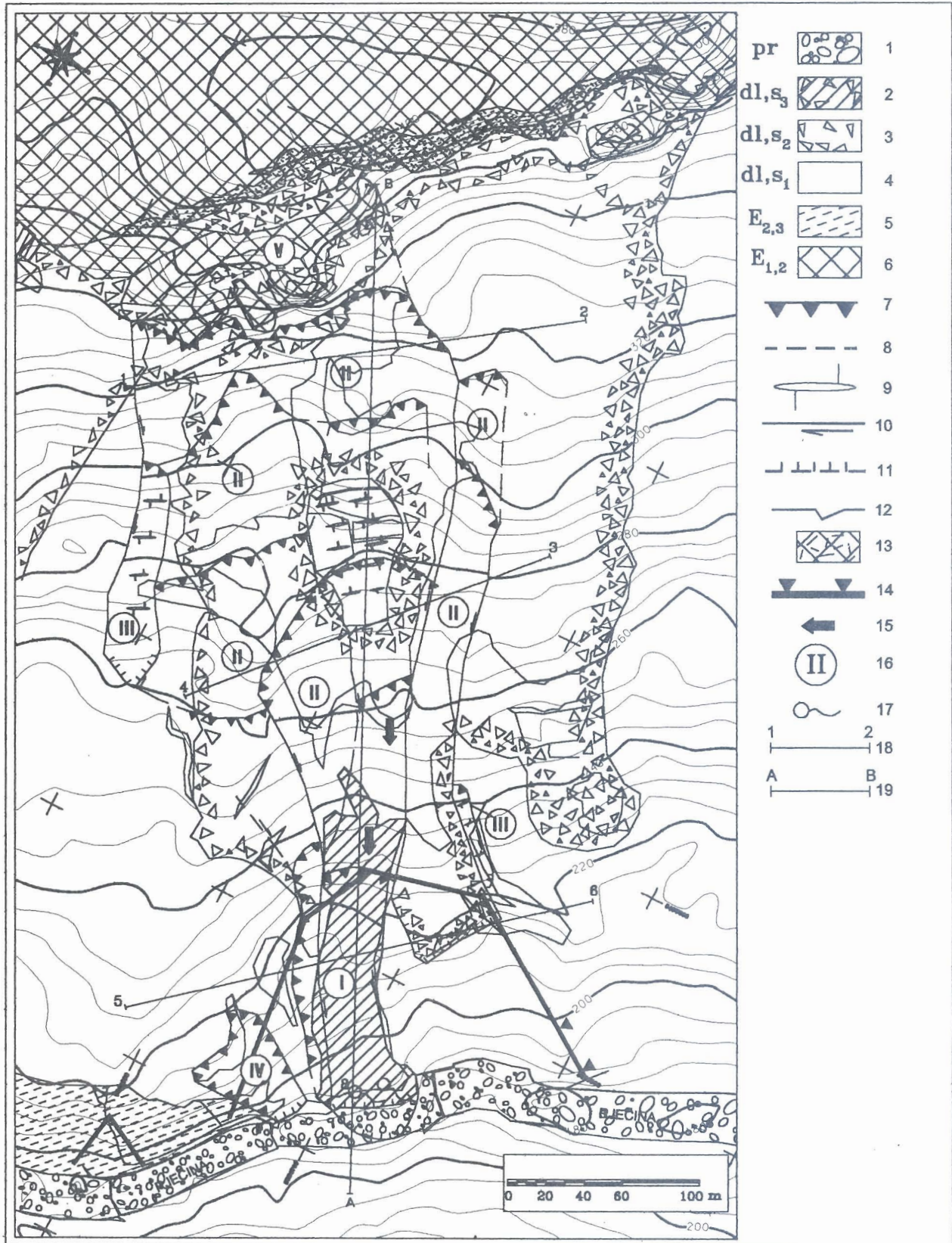
Nakon što je postignut novi, stabilan položaj, počinje slijedeći ciklus u razvoju klizišta. Akumulirani materijal u nožici kliznog tijela je dodatno opterećenje, što značajno povećava stabilnost. Međutim, dio mase iz nožica klizišta ulazi u korito Rječine te tijekom vremena biva erodiran. Tako se ponovno smanjuje stabilnost padine ispod kritične vrijednosti i počinje novo klizanje. Nakon nekoliko ciklusa klizanja, materijal u čelu inicijalnog klizišta u tolikoj je mjeri bio odnesen da je bitno smanjena stabilnost hipsometrijski višeg dijela padine. Zbog toga je počeo proces višestrukog retrogresivnog klizanja sve do vapnenačke litice na vrhu padine.

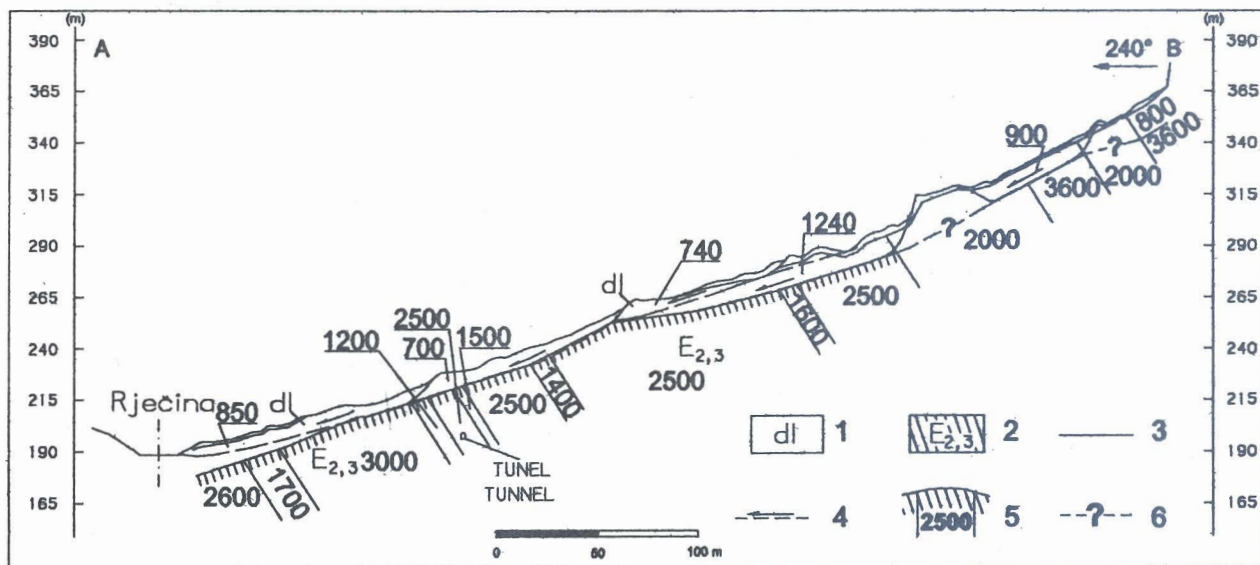
Sl. 2. Pregledna geološka karta područja klizišta

- 1 – foraminiferski vapnenci: donji-srednji eocen (osnovna stijena)
- 2 – fliš: srednji-gornji eocen (osnovna stijena)
- 3 – padinske tvorevine: kvartar (pretežito vezano)
- 4 – padinske tvorevine: kvartar (pretežito nevezano)
- 5 – megablokovi
- 6 – geološka granica
- 7 – granica klizišta
- 8 – Rječina
- 9 – povremeni vodotok
- 10 – pretpostavljena baza vapnenačke stijene
- 11 – trasa profila
 - a – inicijalno klizište
 - b – pokreti u siparu
 - c – pomaci megablokova
 - d – raspadanje stijena

Fig. 2. Generalized geological map of the landslide area

- 1 – foraminiferal limestones: Lower-Middle Eocene (bedrock)
- 2 – flysch: Middle-Upper Eocene (bedrock)
- 3 – slope formations: Quaternary (mostly cohesive)
- 4 – slope formations: Quaternary (mostly uncohesive)
- 5 – megablocks
- 6 – geological boundary
- 7 – margin of the landslide
- 8 – Rječina river
- 9 – periodical stream
- 10 – supposed basis of limestone rock
- 11 – trace of cross-section
 - a – initial landslide
 - b – talus movements
 - c – megablocks movements
 - d – disintegration of the rocks





S1. 4. Profil uz inženjerskogeološku kartu

- 1 – padinske tvorevine
- 2 – fliš (osnovna stijena)
- 3 – litološka granica (određena na temelju seizmičkih mjerenja)
- 4 – klizna ploha (približno postavljena)
- 5 – brzina uzdužnih seizmičkih valova
- 6 – pretpostavljena geološka granica

Opisani procesi prouzročili su, osim istraživanog, i cijeli niz klizišta s obje strane toka Rječine. To je vidljivo po topografiji padina i brojnim ožiljcima na terenu. Većina tih klizišta sada je u stanju mirovanja, ali procesi koji smanjuju stabilnost padina i sada se zbivaju. Prilike su znatno poboljšane izgradnjom akumulacije Valići, jer je protok u koritu Rječine kontroliran. Tako je bitno smanjena pojava bujičnih voda i erozija bokova korita, jednog od ključnih čimbenika smanjenja faktora sigurnosti padine.

Posljednje klizanje nastalo je u nepovoljnim hidrološkim uvjetima, odnosno u razdoblju nakon velikih oborina. Klizanje je započelo pomacima u inicijalnom klizištu u nožici padine, koje je svojom kolvijal-

Fig. 4 Cross-sections with engineering geological map

- 1 – slope formations
- 2 – flysch (bedrock)
- 3 – lithological boundary (defined by seismic survey)
- 4 – slide surface (approximately placed)
- 5 – velocity of longitudinal seismic waves
- 6 – supposed geological boundary

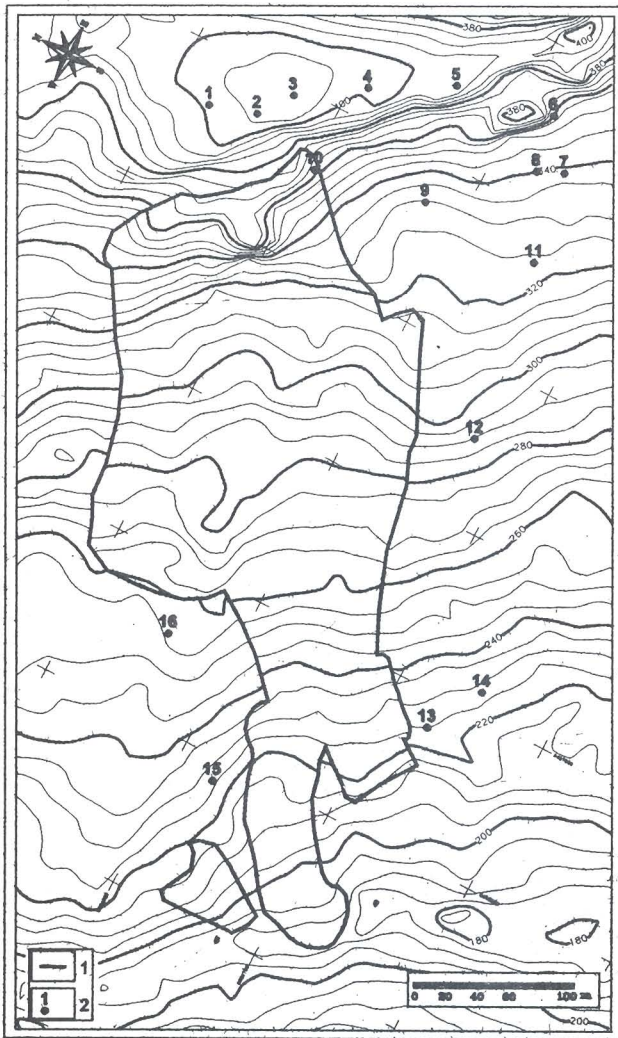
nom masom gotovo pregradilo korito Rječine. U slijedećih nekoliko dana, proces klizanja razvijao se retrogresivno tvorbom kliznih tijela uz padinu sve do vapnenačke litice na vrhu, pa su tako pomaknuti i megablokovi. Pomicanje koluvijalne mase prouzročilo je i bočna klizanja u zemljanom materijalu. Klizanje je zaustavljeno zauzimanjem novih stabilnih položaja pojedinih kliznih tijela. Zbog relativno dugog sušnog razdoblja koje je uslijedilo nakon klizanja, vjerojatno je smanjena vlažnost i tako povećana čvrstoća na smicanje u zoni plohe sloma.

S1. 3. Inženjerskogeološka karta klizišta

- 1 – recentni nanos Rječine (šljunak i valutice)
- 2 – stalno aktivno klizište (odlomci i glina)
- 3 – nevezane padinske tvorevine – sipar (pretežito odlomci i blokovi)
- 4 – vezane padinske tvorevine (glina i odlomci)
- 5 – fliš (osnovna stijena)
- 6 – foraminiferski vapnenci (osnovna stijena)
- 7 – čelo klizišta
- 8 – granica klizišta (približno postavljena ili pretpostavljena)
- 9 – otvorena pukotina u tlu
- 10 – tangencijalna pukotina u tlu
- 11 – položaj nožice klizišta (prosinac 1996.)
- 12 – otvorena pukotina u stjenjskoj masi
- 13 – razrahljena stjenjska masa
- 14 – oštećena betonska obloga tuncla
- 15 – recentni pomaci u klizištu
- 16 – tip klizišta (opisan u tekstu)
- 17 – izvor
- 18 – trasa seizmičko-refrakcijskog profila
- 19 – trasa inženjerskogeološkog profila (s1. 4)

Fig. 3 Engineering geological map of the landslide

- 1 – recent deposit of Rječina river (gravel and boulder)
- 2 – constantly active landslide (fragments and clay)
- 3 – uncohesive slope formation – talus (mostly fragments and blocks)
- 4 – cohesive slope formation (clay and fragments)
- 5 – flysch (bedrock)
- 6 – foraminiferal limestones (bedrock)
- 7 – head of the landslide
- 8 – margin of the landslide (approximately placed or supposed)
- 9 – open fracture in soil
- 10 – shearing fracture in soil
- 11 – position of toe of the landslide (December 1996)
- 12 – open fracture in rock mass
- 13 – disintegrated rock mass
- 14 – damaged concrete tunnel support
- 15 – recent movements in the landslide
- 16 – type of the landslide (described in the paper)
- 17 – spring
- 18 – trace of seismic cross-section
- 19 – trace of engineering geological cross-section (fig. 4)



S1. 5. Karta promjena morfologije padine

1 – granice klizišta

2 – položaj repera

Fig. 5. Map of the slope morphology

1 – margin of the landslide

2 – position of landmarks

Zaključak

Nastanak klizišta predodređen je geološkom gradom i strukturnim sklopom kao i morfogenezom dijela doline Rječine između Lopače i Pašca. Obje strane doline na granici su stabilnoga ravnotežnoga stanja, pa je tijekom ovoga stoljeća zabilježeno nekoliko većih klizišta. Istraživano klizište očito nije nova pojava budući da je još godine 1912. ispod njega iskopan hidrotehnički tunel, jer su ondašnji graditelji upravo na tom mjestu uočili pojave nestabilnosti. Pomaci na padini zapažaju se već više desetljeća. Klizna masa je povremeno ulazila u korito Rječine odakle je bila odnesena. To je prouzročilo proces višestrukog retrogresivnog klizanja sve do vapnenačke litice na vrhu padine.

Dosadašnjim istraživačkim radovima ustanovljeno je da je na padini uz korito Rječine nastalo kompleksno klizište unutar kojeg se mogu razlučiti:

- inicijalno klizište
- klizišta u siparu
- bočna klizišta u zemljanom materijalu
- pomicanja vapnenačkih megablokova.

Sadašnje klizanje dogodilo se nakon dugotrajnog kišnog razdoblja. Klizanjem je zahvaćen materijal u pokrivaču kao i površinski dio degradirane flišne stjenke mase, odnosno dio kore fizičko-kemijskog raspadanja. Klizanje je započelo pomacima u inicijalnom klizištu u nožici padine, koje je svojom kolvijalnom masom gotovo pregradilo korito Rječine. U slijedećih nekoliko dana proces klizanja razvijao se retrogresivno tvorbom kliznih tijela uz padinu sve do vapnenačke litice na vrhu. Pomicanje kolvijalne mase prouzročilo je i bočna klizanja u zemljanom materijalu. Klizanje je zaustavljeno zauzimanjem novih stabilnih položaja pojedinih kliznih tijela. Klizište je relativno plitko, jer u tunelu ispod nožice klizišta nisu uočena oštećenja prouzročena klizanjem.

Pomaci megablokova odvojenih od vapnenačke stjenke mase su posebna pojava, netipična za geodinamičke događaje na flišnim padinama u široj okolini Rijeke. Blokovi, najvjerojatnije, klize po flišnoj podlozi. Vapnenačka stjenka na litici je izrazito dezintegrirana. Ta se pojava može smatrati klizištem u nastajanju.

Prema prihvaćenim klasifikacijama radi se o složenoj pojavi klizanja: višestrukim retrogresivnim klizištu koje se počelo razvijati od stope prema vrhu padine, kao i o blokovskom klizištu. S obzirom da je geološka građa uvjetovala položaj klizne plohe, to je ujedno i konsekventno translacijsko, odnosno blokovsko klizište.

Provedeni radovi prve faze istraživanja ustanovili su geometriju klizišta, ukazali na genezu klizišta, na vjerojatan položaj kliznih ploha i na mehanizam sloma. U slijedećim fazama istraživačkih radova obaviti će se dodatna geofizička mjerenja i istražna bušenja, kojima će se dopuniti spoznaja o geometriji kliznog tijela kao i o kretanju podzemne vode na padini. Laboratorijskim odredbama proširiti će se spoznaja o mi-neraloško-petrografskim i fizičko-mehaničkim značajkama pokrivača i flišne podloge. Geodetskim mjerenjem repera, te uporabom inklinometara, omogućit će se dugoročno praćenje pomaka masa na promatranoj padini. Na temelju tih spoznaja, povratnim će se analizama nastojati otkriti uvjete padine u vrijeme nastanka posljednjeg klizanja kao i predložiti mjere sanacije klizišta.

Primljeno: 1999-03-10

Prihvaćeno: 1999-09-14

LITERATURA

- Antione, P. & Giraud, A. (1995): Typologie des Mouvements de Versants dans un Contexte Operationnel. *Bulletin IAEG*, 51, 57-62, Paris.
- Arbanas, Ž., Benac, Č., Andrić, M. i Jardas, B. (1994): Geotehničke osobitosti fliša na trasi Orhovica – Sv. Kuzam Jadranske autoceste kod Rijeke. Saopćenja Znanstvenostručnog savjetovanja Geotehnika prometnih građevina, 1, Novigrad 1994., 181-190, Zagreb.
- Benac, Č. (1996): Morfološka evolucija Riječkog zaljeva: utjecaj klimatskih i glaciostatičkih promjena. *Acta Geographica Croatica*, 31, 69-84, Zagreb.
- Biondić, B., Cvijanović, D., Skoko, D. i Vulić, Ž. (1975): Seizmotektonska karta područja Rijeke. Zbornik radova Jugoslavenskog simpozija o seizmičkoj mikrorajonizaciji, 19, 1-5, Plitvička Jezera.
- Biondić, B. (1988): Tapping and Protection of Underground Water in the Adriatic Karst Region Related to the New Conception of Structure of Dinarides. IAH 21st Congress, Guilin.
- Biondić, B. & Goatti, V. (1984): Zaštitne zone izvorišta pitke vode na području općine Rijeka. Zbornik radova Jugoslavenskog simpozija za inženjersku geologiju i hidrogeologiju, 1, 281-289, Budva.
- Biondić, B., Goatti, V. i Vulić, Ž. (1978): Hidrogeološka istraživanja u slivu izvora Rječine, Grobničkog polja, Zvira i

- Martinšćice. Zbornik referata Simpozija o istraživanju, eksploatairanju i gospodarenju podzemnim vodama, B, 61–69, Zagreb.
- Herak, M. (1991): Dinaridi i mobilistički osvrt na genezu i struktura. *Acta geologica 21(2)*, 35–117, HAZU, Zagreb.
- IAEG (1990): Suggested Nomenclature for Landslides. *Bulletin of the IAEG, 41*, 13–16, Paris.
- Kleiner, I., Nonveiller, E. i Vulić, Ž. (1968): Fundiranje luke za rasute terete u Bakru. *Gradevinar 20(8)*, 229–240, Zagreb.
- Magdalenić, A., Jurak, V. i Benac, Č. (1992): Inženjerskogeoška problematika izgradnje luke u jugoistočnom dijelu Bakarskog zaljeva. *Pomorski zbornik, 30*, 633–654, Rijeka.
- Mihljević, D. (1998): Reljef strukturnog podrijetla i strukturno-geomorfološke regije Istre i Kvarnera. U: -Arko – Pijevac, M., Kovačić, M. & Crnković, D. (editors). *Prirodoslovna istraživanja riječkog područja. Prirodoslovna biblioteka 1*, 277–302, Prirodoslovni muzej, Rijeka.
- Nonveiller, E. (1987): Klizanje i stabilizacija kosina. Školska knjiga, 204 pp., Zagreb.
- Popescu, M. E. (1994): A suggested method for reporting landslide causes. *Bulletin of the IAEG, 50*, 71–74, Paris.
- Prelogović, E., Blašković, I., Cvijanović, D., Skoko, D. i Aljinović, B. (1981): Seizmotektonske značajke viodolskog područja. *Geol. vjesnik, 33*, 75–93, Zagreb.
- Prelogović, E., Kuk, V., Jamičić, D., Aljinović, B. i Marić, K. (1995): Seizmotektonska aktivnost Kvarnerskog područja. Zbornik radova 1. Hrvatskog geološkog kongresa, Opatija 1995, 2, 487–490, Zagreb.
- Šikić, D., Pleničar, M. i Šparica, M. (1972): Osnovna geološka karta 1:100.000, list Ilirska Bistrica. Savezni geološki zavod, Beograd.
- Šikić, D. & Pleničar, M. (1975): Osnovna geološka karta 1:100.000, tumač za list Ilirska Bistrica. Savezni geološki zavod, Beograd.
- Vulić, Ž. & Csarcc, M. (1989): Problematika vezana za visoke zasjčke kod izvedbe koksare u Bakru. Saopćenja I. Savjetovanja Društva za mehaniku tla i temeljenje Hrvatske, Opatija 1989, 291–208, Zagreb.

Complex Landslide in the Rječina River Valley

Č. Benac, Ž. Arbanas, B. Jardas, S. Kasapović and V. Jurak

The investigated landslide is situated on the northeastern slope of the Rječina river valley, between the Valići dam and the village of Pašac (sl. 1). The most recent larger downslope displacement was observed on December 5, 1996. The very next day the Rječina river channel was almost filled. After the initial landslide displacement, the retrogressive development (from toe to head) started, as well as the formation of the small lateral landslides. In the end of this process, the isolated rocky blocks were moved, and the rocky scarps fractures on the slope head opened. The landslidings occurred gradually, and haven't completed not even one year after their start. The small movements can be further noticed, particularly the process of fractures opening in talus material and rockfall (photo). Slope topography also facilitates the phenomena of instability. The average dip slope angle is 17° and fluctuates from 15° to 24°. There is a probability of the long-term slope debris creeping above flysch bedrock. The shape of the slope shows typical signs of the ancient landslide: meandering of contours and changes of dip angle. Rocky scarps are subvertical, and isolated megablocks are partially inclined downslope. Very steep position of the scarps facilitates the process of rockfall.

The complex landslide origin is preconditioned by geological structure and morphogenesis of the Rječina valley. The structural form Lopača–Pašac–Orehovica, which includes the investigated part of the Rječina valley, presents a part of the squeezed syncline which extends in direction of the Rječina valley–Sušačka draga valley–Bakar bay–Vinodol valley. According to the new interpretation of the Dinarides tectonics, the structure Lopača–Pašac–Orehovica is considered to be a tectonic window between the Rječina–Grobnik–Čavle overthrust on the northwestern and the Katarina–Trsat overthrust on the south-eastern side. Limestone rocks are thrust over the flysch rock mass. Therefore, the limestone rocks are present on the top sites, while the flysch is on the down part of the slope including the bottom of the valley. According to this interpretation, the limestone scarps on the northeastern part of the valley probably present the overthrust edge (fig. 2).

Flysch rock mass has lithological heterogeneity. It mostly consists of claystone, siltstone and shales with intercalated fine-grained sandstones, marls, conglomerates and limestones. Limestone rock mass is faulted and extensively fractured. It was the reason for the occurrences of the megablocks separation, and falling material accumulation on the scarp foot. Flysch rock mass has lower resistance to the weathering than limestone rock. Mostly clayish weathering zone was formed. During the Pleistocene the coarse-grained fragments, originating from talus, and the flysch weathering zone mixed together. A few meters thick slope debris formations were formed. Because of the extremely disintegrated limestone rock mass, the younger generation of talus was formed. This non cohesive coarse-grained material was mostly unmixed with clay. Such a sequence of the morphogenetic events caused potentially unstable slope formations. In comparison to the flysch formed valleys, such as Sušačka draga, and Vinodolska dolina, talus breccias (as the older morphogenic phase remnants) are not widely spread in this area. In cohesive and non cohesive zone of slope debris, rocky blocks larger than a meter are common. This is the evidence that the morphogenetic evolution of the slope was much shorter, than it was the case in the other areas of the similar geological structure.

The slopes between the Valići dam and the village of Pašac, are of the equilibrium stage stability, and therefore witnessed a few greater landslides during this century. The investigated landslide area is not of the recent times. The initial slide body moved several times, but in December 1996, up to that time, a relatively stable part of slope was also moved. As far as 1912, the cutting of the hydro-technical tunnel was finished in the area under the initial slide, because that time builders observed the signs of instability on that spot. Exactly on the present landslide toe site, the numerous displacements of sliding mass towards the river channel were observed. This channel has been periodically cleaned.

The described landslide is complex one and with great dimensions. Therefore, it was decided that site investigations will have several stages.

This paper presents the first phase investigation results, which comprise the surveying, seismic and engineering geological explorations. Because of its shape, the topographic surveys was performed by the method of terrestrial photogrammetry. The results are compared with aerial photos from 1981. In this respect, it was possible to discover the changes of slope morphology during the period 1981–1997. The photos were also used for the engineering geological mapping supplements. On the basis of the photo results analysis and the engineering geological mapping, the geological 3D slope model was formed. In this respect the precision, identical to topographic model, was obtained.

The seismic surveying was performed by surface seismic refraction method. Three seismic profiles were positioned parallel to contours (relatively vertical to axis of landslide). The fourth profile was positioned relatively parallel to axis of landslide. The first investigation phase discovered some characteristic of landslide: shape and dimension, genesis, probable position of slip surfaces and mechanism of displacement. The complex type of landslide formation, composed of greater number of landslide bodies, was discovered close to the Rječina river channel. The margins between landslide bodies are mostly pretty obvious. There are several types of landsliding (fig. 3):

- initial (primary) landslide (I);
- landslide in talus formation (II);
- lateral landslide in soil (III);
- removed landslide (IV);
- movements of limestone megablocks (V).

This is a type of complex retrogressive landslide, starting with its development from toe to head. Thirteen individual landslide bodies were discovered. The material of slope formation and a part of weathering zone is caught by landsliding. The landsliding is relatively shallow, because there is no visible damage affected by sliding in the hydrotechnical tunnel. On the basis of the mapping and seismic surveying results, the thickness and shape of sediment bodies is estimated and the approximate position of slip surfaces. By analysis and air photo comparison from 1981, and the terrestrial ones from 1998, the movements of slope areas, uncaught by recent landslide, are also visible.

The larger part of landslide body is saturated by underground water penetrating through the covering zone in contact with flysch bedrock. Groundwater has great impact on strength properties of material, and effective stress quantity on failure surface. Bedrock morphology, especially underground depression discovered by seismic surveying, makes disposition of groundwater flow.

High water from the Valići accumulation causes periodically river erosion, undercutting and decreasing slope stability and therefore creating new displacement. The movements of megablocks are special phenomena, atypical of the flysch slope in the area of Rijeka. The megablocks, most probably, are sliding down the flysch bedrock. Disintegrated limestone rock mass on scarps can be considered as landslide in forming. Geophysical surveying and borehole drilling are going to be performed in the next stages of investigation. It would be possible, using the previously mentioned methods, to supplement the knowledge about the shape and dimensions of the landslide body as well as the groundwater flow. New data about mineralogical and geotechnical properties of debris deposits, weathering zone and flysch bedrock will be obtained through laboratory testing.

The longterm slope velocity displacement surveying will enable topographic surveying of landmarks and borehole inclinometers. The second phase investigation results will enable the analysis of the slope conditions at the moment of sliding. After these analyses it will be possible to propose landslide remedies.