

ING. ERVIN NONVEILLER:

»Geolstraživanja«, Zagreb

## KLIZIŠTE ZALESINA

### Uvod

Veliko klizanje brijega kod Zalesine, koje je zahvatilo i željezničku prugu Zagreb—Rijeka već godinama za daje mnogo brige organima održavanja željeznice. Prvi tragovi pokreta pojavili su se navodno 1936. godine kada je šumski put, koji je vodio uz hrbat brijega od Lujzinske ceste prema željezničkoj pruzi, postao neupotrebljiv. Taj put vjerojatno je vodio po uvali, nastaloj na padini uz hrbat uslijed jednog prethodnog klizanja, koja je na dijelu iznad ceste još i danas vidljiva (slike 3 i 17). 1940. godine porušena je sabirnica vodovoda Delnice u koritu Sušice uslijed deformacije i pokreta tla. Na željezničkoj pruzi primijećeni su prvi pokreti 1949. godine, kada se kolosjek počeo dizati od 3 do 6 cm mjesečno. U maju 1950. godine već je vidljiva glavna pukotina duž cijelog opsega pokrenutih masa (slika 1). Jaki pokreti nastali su 1951. godine poslije obilnih kiša, koje su slijedile iza sušne 1950. godine.

Ljeti 1951. godine započeta su opažanja pokreta na mreži stalnih točaka, koje se promatraju sa repera izvan pokrenutih masa.

Ovim pokretima zahvaćena je željeznička pruga iako samo periferno prolazi pokrenutim masama. Ipak je šteta za željeznicu velika, jer je potrebno stalno ukopavanje i dotjerivanje kolosjeka, vožnja je zbog nestabilnog kolosjeka usporena, a postojala je povremeno i opasnost od lokalnog rušenja strmog pokosa na prugu. U cilju saniranja ovog, za glavnu prugu Zagreb—Rijeka, kritičnog, stanja počelo se je već prije proučavati ovu pojavu i tražiti mogućnost saniranja barem dijela klizišta oko pruge.

U tom radu sudjelovali su naši poznati stručnjaci za geologiju i geomehaniku. Formirana je stalna komisija stručnjaka za proučavanje klizišta i razradu prijedloga za njegovo saniranje i uspostavljanje normalnog željezničkog prometa na ovoj važnoj arteriji.

Ova komisija razradila je detaljnu geološku studiju područja, organizirala je promatranje pokreta, geodetsko snimanje područja i sondažna bušenja. Proučavanjem mogućnosti prelaganja pruge tunelom ustanovljeno je, da bi se tunel morao graditi u geološki vrlo nepovoljnom tlu, te da bi takovo rješenje bilo vrlo skupo. Stoga je posvećena velika pažnja traženju načina za zaustavljanje klizanja. Gledišta članova komisije na

karakter klizanja i mogućnosti zaustavljanja pokreta nisu bila jednodušna, pa je u jeseni 1952. god. razrađen program daljnjih istraživanja, kojima bi se razjasnila sporna pitanja i našlo najpovoljnije rješenje. Provođenje tog programa, studiranje i projektiranje sanacionih mjera povjereno je poduzeću »Geoistraživanja«, čiji odjel za mehaniku tla i fundiranje na tome radi od siječnja 1953.

### Morfologija i geološka slika područja klizanja

Morfologija tla u području klizanja prikazana je situacionim nacrtom na slici 1. Cijeli desni obronak koše, koja se proteže od ceste Zagreb—Rijeka do željezničke pruge, zahvaćen je pokretima sve do korita potoka Sušice. Duljina pokrenute mase iznosi oko 500 m, širina oko 300 m, a dubina oko 70 m, dok je ukupna količina mase ocijenjena s oko 5 mil. m<sup>3</sup>. Na situaciji ucrtane su pukotine, koje možemo podijeliti na glavne i sporedne. Glavna pukotina na gornjem rubu klizišta proteže se dijelom paralelno s hrptom, a na oba kraja skreće prema dolje do korita Sušice tako, da je cijeli odron školjkastog oblika. Slike 2, 3 i 4 prikazuju glavnu pukotinu, na kojoj do sada nastali pokreti iznose oko 8 m. Pored ove glavne ima i više sporednih pukotina, od kojih je zanimljiva ona (slike 1—4), koja je usporedna s glavnom (na sjeveroistočnoj strani hrpta) prikazana na slici 5. Izgleda da uslijed klizanja na doljnjem dijelu pokrenutih masa nastaju praznine u koje se gornji dijelovi masa povremeno urušavaju stvarajući ovakove pukotine. Ovi pokreti međutim nisu od naročito upliva na mehaniku kretanja masa, jer je duljina staze točaka koje se opažaju na raznim višim i nižim mjestima klizišta skoro jednaka, kako ćemo kasnije vidjeti. Na doljnjem kraju u koritu Sušice mase tla se izdižu jer je njihovo kretanje tu spriječeno susjednim obronkom na drugoj obali Sušice. Slika 6 prikazuje kako se površinski slojevi u ovoj zoni postepeno prevrću, pa su stabla nagnuta u smjeru kretanja. Prirodno korito Sušice na taj način je stisnuto i izdignuto, ponegdje se stvaraju uspori i mala jezera kako se vidi na slici 7. Na taj način postepeno je zatrpan i ulaz u propust kojim Sušica prolazi ispod nasipa. Na ulazu propusta izgrađeno je okno u koje voda ulazi sa strane kroz kameni nabačaj.

Željeznička pruga zahvaća pokrenute mase periferno na njihovom sjevernom kraju. Tu je prvobitno bio zasjek sa strmom padinom zaštićenom na donjem kraju potpornim zidovima. Ovi zidovi su se u početku pokreta približili pruzi toliko, da su se morali ukloniti. Uslijed toga što se dizala pruga je stalno ukopavana, a padina usjeka se je pored toga kretala prema pruzi tako, da je njena nožica potkopavana. Pokos je postao tako strm, da je prijetilo lokalno rušenje na prugu. Po projektu ing. Poljanška ublažen je ovaj pokos otkopom cca 50.000 m<sup>3</sup> zemlje, koja je deponirana na padini iza usjeka. Slika 8 prikazuje radove na ublaženju padine ovog usjeka.

Dva poprečna profila na slici 9, koji su načinjeni prema snimcima iz 1950., 1951. i 1953. godine pokazuju deformacije nastale klizanjem masa.

Geološka slika cijelog područja oko klizišta vrlo je komplicirana radi jakih tektonskih poremećaja. Geološka slika klizišta prikazana je

na slici 1. Hrbat između ceste i pruge pokriven je naslagama glavnog dolomita (norik). Ispod njega dolaze naslage gornjih rabeljskih škrljavaca i pješčenjaka žućkaste, sive, zelenkaste i ljubičaste boje s umecima vapnovitog ćelijastog dolomita. Na slici 13 a vidimo, da su ove naslage uslojene i borane, a kopanjem se raspadaju u sipku masu. Cijela pokrenuta padina sastoji se, kako su pokazala bušenja izvršena u srednjem dijelu klizišta, od ovih naslaga. Crveni donji rabeljski škrljavci pojavljuju se na susjednoj padini Sušice u blizini pruge i izdignuti su tektonskim pokretima na sjeverozapadnom dijelu uz glavnu pukotinu. Oni vjerojatno tvore duboku sinklinalu ispod masa bijelih rabelja. Ispod crvenih rabeljskih škrljavaca pojavljuju se na sjevernoj i zapadnoj strani pokrenutih masa crni permokarbonski škrljavci i pješčenjaci.

U neposrednom području klizišta postoje tri rasjeda: jedan u smjeru dinarskog pružanja paralelno s hrptom i dva rasjeda u poprečnom smjeru na oba kraja klizišta (Janjić, 1952). Glavna pukotina na hrptu brijega nastala je uz glavni rasjed. Tektonsku poremećenost glavnog dolomita prikazuje presjek u usjeku nove trase ceste Zagreb—Rijeka na slici 10.

Poprečni presjek kroz klizište na temelju najnovijih podataka bušenja prikazan je na slici 13.

### Pokreti i deformacije masa

Na slici 1 prikazane su putanje opažanih točaka za vrijeme od 15. 6. 1951. do 1. 4. 1954. Vidi se, da su putanje svih točaka gotovo paralelne, osim točke 6 čija putanja je skrenuta više prema središtu klizišta. Pravac pokreta siječe prugu pod kutem od približno  $45^{\circ}$ .

U početku opažanja pokreta mislilo se je, da pravac pokreta u sjevernom kraju klizišta skreće od glavnog smjera na smjer približno okomito na prugu. Kasnije je ustanovljeno da su tada podaci mjerenja krivo interpretirani. Točke uz hrbat se sliježu, dok se točke pri donjem rubu uzdižu. Iz toga se već može zaključiti da se pokrenute mase kreću na jednoj dosta pravilnoj jedinstvenoj kliznoj plohi koja je svakako konkavna, što je u skladu i s bočnim pukotinama.

Klizna ploha izbija na površinu u koritu Sušice, osim na sjeveroistočnom kraju gdje visoki željeznički nasip spriječava pokrete, pa skreće i kliznu plohu od dna korita prema gornjem rubu nasipa.

Na slici 11 prikazana je duljina staze točaka u prostoru (rezultanta vertikalne i horizontalne putanje). Vidi se, da je duljina staze, za sve točke gotovo jednaka, bez obzira na njihov položaj na klizištu. Iz toga se može zaključiti, da se pokrenute mase kreću kao jedna cjelina na kliznoj plohi pravilnog oblika.

Na istoj slici prikazan je intenzitet oborina za zimske, odnosno ljetne periode u vremenu promatranja pokreta. Vidi se, da postoji zavisnost između intenziteta pokreta i oborina do ljeta 1953., a kasnije su pokreti sve manji, nezavisno od oborina. Isto se tako vidi, da je u početku intenzitet klizanja uz iste količine oborina bio veći nego kasnije. Možemo ustanoviti, da se od ljeta 1953. nadalje pokreti stalno smanjuju — jenjavaju.

## Novi istražni radovi

Izneseni rezultati geoloških istraživanja i opažanja pokreta, kao ni druga opažanja na terenu nisu mogla dati određeni odgovor na pitanja o uzroku klizanja, fizikalnim uvjetima kretanja masa, ni o mjerama koje bi trebalo poduzeti za sanaciju klizišta.

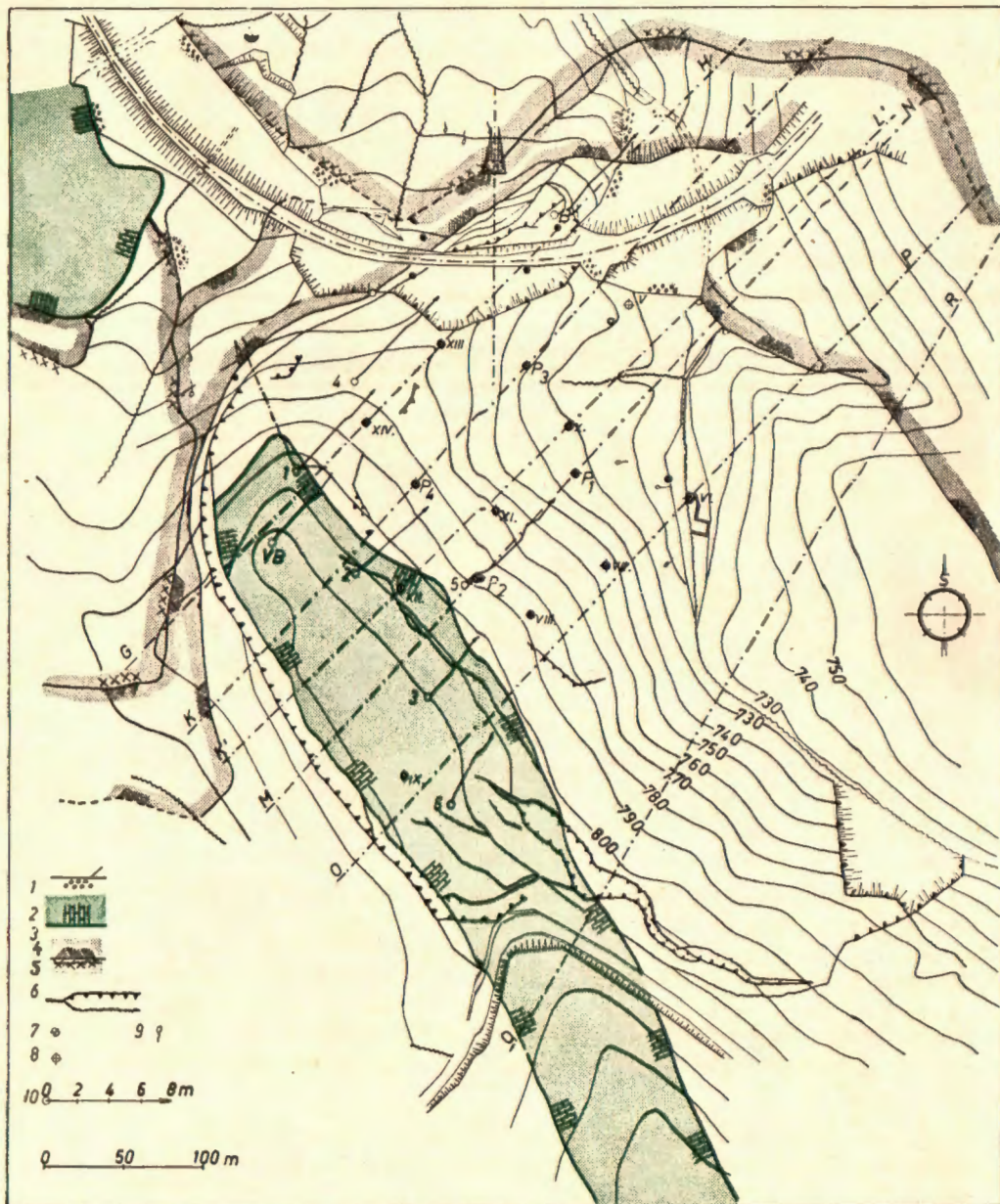
Članovi komisije, koja je ispitivala klizište, nisu se složili o obliku i dubini klizne plohe. JANJIC (1952) je zastupao gledište, da klizna ploha nema kružni ili drugi pravilan oblik nego je blago zatalasana na granici dvaju geoloških različitih slojeva sačastih dolomita i rabeljskih škrljavaca u dubini od najviše 35 m, dok je ŠUKLJE (1953) zastupao mišljenje, da je klizna ploha znatno dublja, 50 do 80 m, i da je pravilna. Geomehanička ispitivanja materijala provedena do konca 1952. godine i analize ravnoteže masa upućivale su na postojanje klizne plohe, kao i na veliki upliv podzemne vode na kretanje masa.

Rašljari, koji su također bili konzultirani, bili su mišljenja, da postoji neki podzemni pritok vode, koja raskvašava mase.

Komisija je stoga predložila program istražnih radova, kojima bi se ta pitanja morala razjasniti. Polazeći od tog programa započeli smo 1953. godine kopanjem dvaju sondažnih potkopa na sjevernom rubu klizišta, koje smo postavili tako, da bi što prije ustanovili položaj klizne plohe, koji je bio neophodno potreban za projektiranje sanacionih radova. Postavljeni su potkopi a i b prikazani u situacionom nacrtu (slika 1.). Ovim smo rovovima htjeli dobiti i podatke o mogućnosti dreniranja pokrenutih masa i o efikasnosti takove drenaže.

Iskop ovih rovova pokazao je, da se pokrenute mase i u dubini sastoje od rabeljskih škrljavaca i dolomita, te se položaj klizne plohe nije mogao odrediti iz karakteristika materijala. Škrljavci su u cijelom području tektonskim pokretima tako jako poremećeni, da nije bilo bitne razlike između materijala, koji sadašnjim pokretima nije zahvaćen i onog, koji je u kretanju, pa ni na prelazu između njih. Nepobitni položaj granice između mirnih i pokrenutih masa ustanovljen je tek mjerenjem položaja osi potkopa kroz duže vremena. Na ulaznoj strani os potkopa, označena na podgradi nije se pomicala, dok je u većoj dubini vremenom primijećeno pomicanje, kako je prikazano na slici 12, gdje vidimo da do potpore na 63-ćem metru od ulaza nije bilo pokreta, a od potpore na 77 metru dalje pomak osi potkopa iznosio je oko 125 mm za vrijeme od 4,5 mjeseca. U zoni između ove dvije točke pomaci postepeno rastu od nule na punu vrijednost. Iz toga slijedi, da se mase ne kreću na nekoj plohi nego na zoni smicanja debljine oko 7 m. Komparacija veličine pomaka osi potkopa s pomakom koji je u istom vremenu ustanovljen na površini pokazuje da su oni jednaki. Prema tome mase se bez veće deformacije kreću na kliznoj zoni kao cjelina. Mjerena je vlažnost materijala iz klizne zone koja iznosi oko 18% suhe težine, a ustanovljena je 100%-tna zasićenost pora vodom. Prema tome se ne može govoriti o klizanju po nekoj raskvašenoj zoni.

Količina vode koja istječe iz ovih rovova iznosi u gornjem rovu b oko 0,2 do 1,0 lit/min, a u donjem rovu a oko 24 lit/min.



Sl. 1. Situacioni nacrt klizišta — Topography of the landslide 1 pleistocen — pleistocene; 2 glavni dolomit (norik) — Noric dolomite (norik); 3 gornji rabeljski škriljavci — upper Raibl strata 4 donji rabeljski škriljavci — lower Raibl strata; 5 permo-karbonski škriljavci — permian; 6 pukotine — fissures; 7 bušotine do 1952. g. — borings up to 1952; 8 bušotine 1954 — borings in 1954; 9 urela — sources; 10 mjerilo pomaka — scale of displacements



Sl. 2. Pukotine uz cestu 6827 — Fissures along the road



Sl. 3. Glavna pukotina prema cesti — Main fissures view toward the road — 1 glavna pukotina — main fissure — 2 uvala stare usjekline — old depression — 3 usjek nove ceste — new road cut

*Nonveiller: Klizište Zalesina*



*Sl. 4. Glavna pukotina prema pruzi 78 — Main fissure, view toward the railway*



*Sl. 5. Sporedne pukotine 7607 — Secondary fissure*

*Nonveiller: Klizište Zalesina*



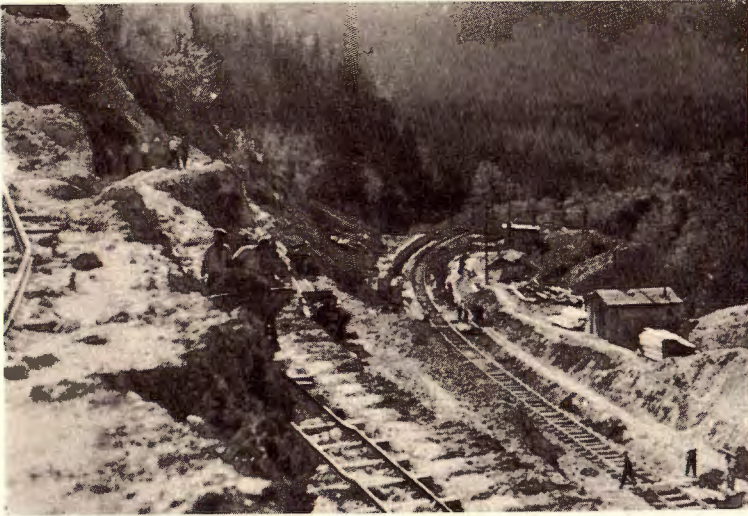
*Sl. 6. Stopa klizišta u potoku 6822 — smjer pokreta — Foot of slide at creek level*



*Sl. 7. Akumulirana voda u potoku — Detained water in the creek*



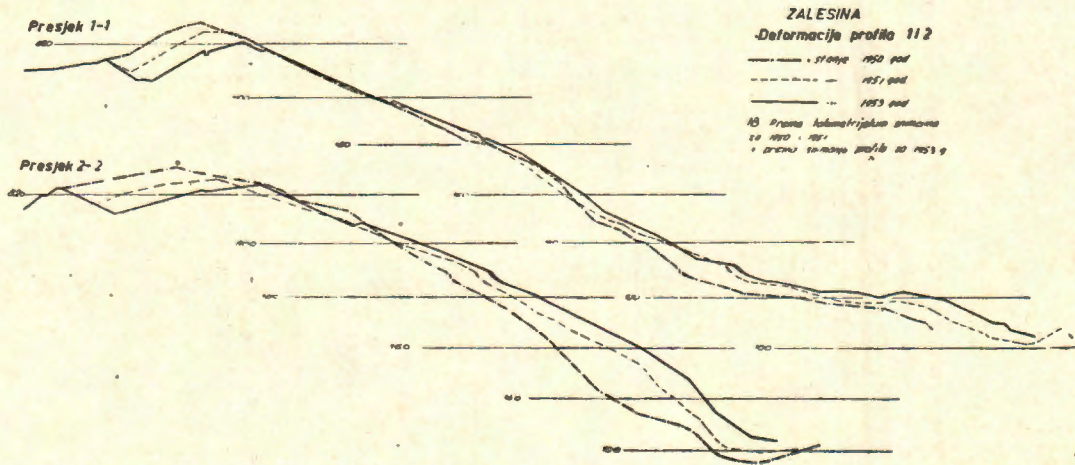
*Nonveiller: Klizište Zalesina*



*Sl. 8. Kopanje u bijelom usjeku 7608 — Excavation in the railway cut*

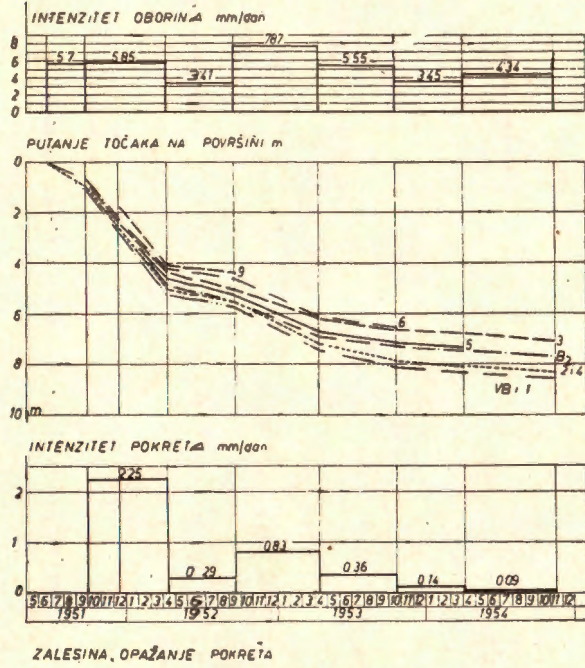


*Sl. 10. Tektonska poremećenost glavnog dolomita 7605 — Tectonic disturbance of the dolomitic rock*

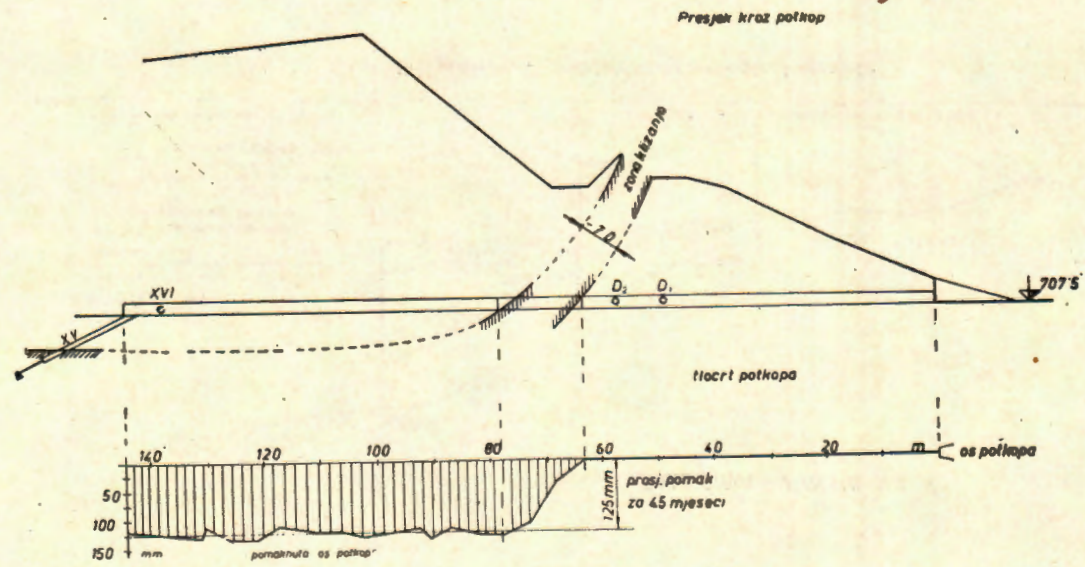


Sl. 9. Poprečni profili kroz klizište — Cross section

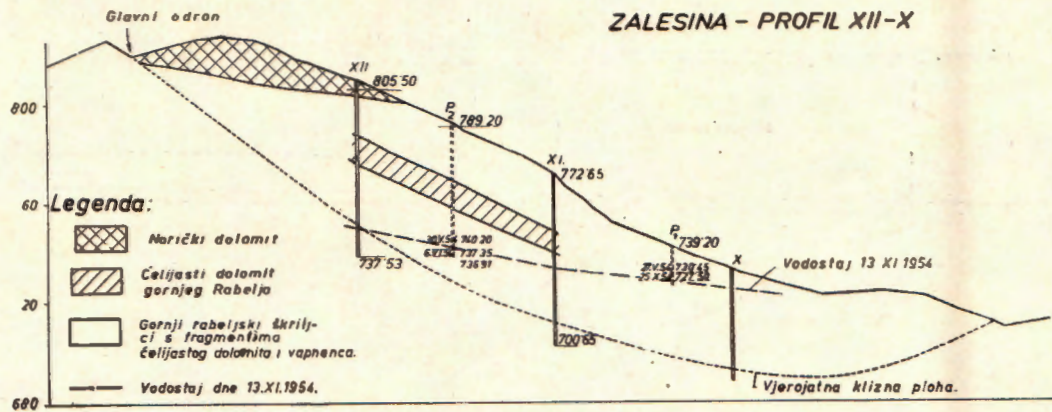
Nonveiller: Klizište Zalesina



Sl. 11. Putanja promatranih točaka — Displacements of poles on sliding area

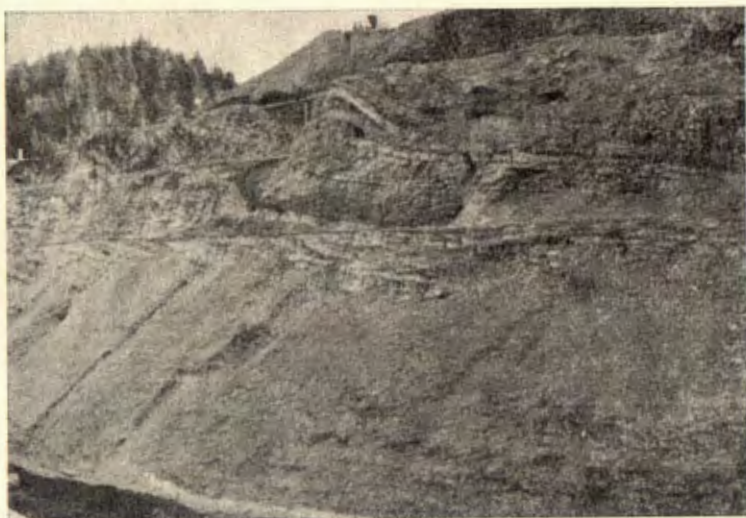


Sl. 12. Deformacija osi tunela — Deformation of axis of investigation gallery



Sl. 13. Geološki poprečni presjek — Geological profile

**Nonveiller: Klizište Zalesina**



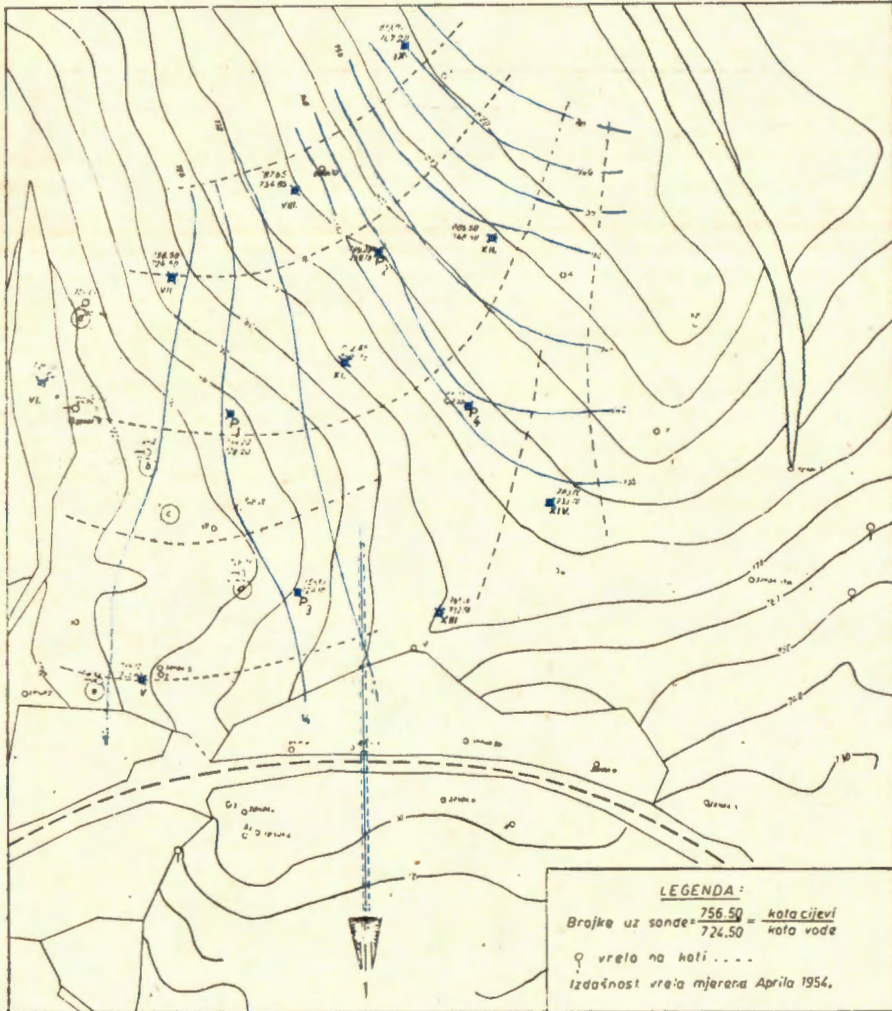
**Sl. 13.a Slojevitost gornje-  
ga rabelja u bijelom usje-  
ku 7634 A — Stratification  
of upper Raibl in railway  
cut**



**Sl. 14. Mjerenje vodostaja  
u piezometru 8433 — Pie-  
zometer observation**

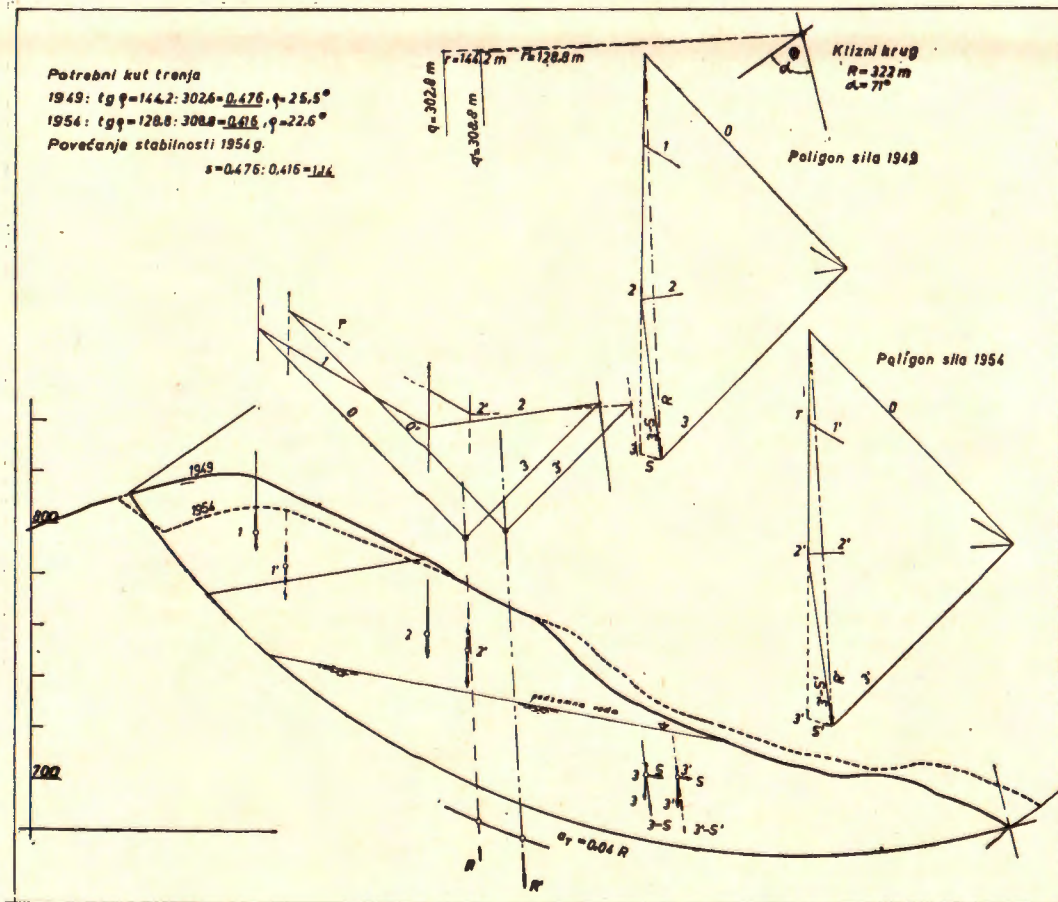


*Sl. 17. Uvala uz cestu — Depression on road cut*



Sl. 15. Izohipse podzemnog vodostaja — Underground water surface





Sl. 16. Račun ravnoteže masa — Stability analysis section K'-L'

Položaj klizne zone ustanovljen ovim rovovima u skladu je s koncepcijom o vrlo dubokoj zakrivljenoj odnosno kružnoj plohi. Ipak položaj je određen samo periferno. Zato je početkom 1954. razrađen program daljnjih bušenja s ciljem, da se u srednjem dijelu klizišta ustanovi:

1. geološki sastav materijala do dubine veće od klizne zone,
2. dubina klizne zone,
3. visina podzemne vode i njen nagib.

Na temelju iskustava s prethodnim sondažnim bušenjem i opažanjima u sondažnim tunelima vidjeli smo, da se položaj klizne zone ne će moći ustanoviti iz sastava, kao ni iz vlažnosti materijala. Stoga su geološke bušotine opremljene oblogom od Juvidur cijevi promjera 60/70 mm, koja je na licu mjesta varena od komada odgovarajuće duljine. Nakon bušenja izmjeren je nagib osi bušotine pomoću kardanske busole TROPARI, a to se u određenim vremenskim razmacima opetuje, kako bi se iz promjene nagiba u raznim dubinama moglo zaključiti o položaju klizne zone. Mjerenja do sada nisu dala jasne rezultate, jer su pokreti od vremena opažanja znatno smanjeni, pa su promjene nagiba unutar točnosti mjerenja. Bušotine na slici 1. označene su rimskim brojkama. Ovim bušenjem ustanovljeno je, da se tlo do velike dubine sastoji od rastrošenih bijelih rabeljskih škrljavaca i laporovitih dolomita, a u nekim bušotinama ustanovljen je deblji sloj čelijastog dolomita s proslojcima razlomljenih i rastrošenih bijelih škrljavaca, kako je prikazano na slici 13. Ove su bušotine potvrdile, da u velikoj dubini ispod pokrenutog pokosa nema crvenih rabeljskih škrljavaca, nego je klizanje nastalo u homogenim masama bijelog rabelja.

U srednjem dijelu klizišta postavljena su četiri piezometra velike osjetljivosti, kako bi točno registrirali promjene nivoa vode i u malo propusnom tlu. Konstrukcija vidljiva je iz slike 13. Vodostaj se uspostavlja u tankoj cijevi od Juvidura  $\phi$  10/14 mm, koja je u vezi s filterom od poroznog kamena postavljenog u pijesku. Vodostaj se mjeri električnom sondom (sl. 14). Kasnije je ustanovljeno, da je tlo toliko propusno, da se vodostaj može dovoljno točno mjeriti i u ostalim bušotinama, tako da je jeseni 1954. ustanovljen podzemni vodostaj na cijelom području.

U okviru ovih istražnih radova bušene su i drenažne bušotine u horizontalnom smjeru iz tunela a. Izbušene su tri horizontalne sonde dubine 20 i 30 m, koje su dale stanovite podatke o mogućnosti dreniranja tla sistemom drenova bušenih iz tunela.

### HIDROLOŠKI PODACI

Vrela koja postoje na doljnjem dijelu padine prema Sušici označena su u situaciji na slici 15.

Ukupna količina vode, koja se drenira na površinu iznosila je u aprilu 1954. godine:

vrela u koritu Sušice	213 lit/min
tunela a	24 „
drenovi u tunelu a	8 „
tunel b	1,5 „
vrela pred tunelom a	1,3 „

Mjerenja vodostaja u piezometrima i sondažnim bušotinama pokazala su postojanje visokog podzemnog vodostaja, kako je prikazan u poprečnom profilu na slici 13. Izohipse podzemne vode prikazane su na slici 15., iz čega se vidi, da je nivo podzemne vode nagnut prema dolini Sušice. Najveći gradijent je prema najjačem vrelu *a* (slika 15).

Aproksimativni proračun ravnoteže podzemne vode u predjelu klizišta pokazuje, da kod prosječne visine oborina sa 2800 mm godišnje može prodrijeti u tlo oko 74.000 m<sup>3</sup> vode, dok iz svih registriranih vrela i drenova izlazi oko 79.000 m<sup>3</sup>. Postoji dakle gruba ravnoteža između dotjecanja i istjecanja, pa je ustanovljeni visoki podzemni vodostaj posljedica prirodnog dotjecanja oborinske vode sa samog područja klizišta bez podzemnog dotjecanja iz šireg oborinskog područja. Ovo također pokazuje, da bi se jakom drenažom moglo znatno sniziti podzemni vodostaj i time poboljšati stabilnost masa.

### GEOMEHANIČKA ISPITIVANJA

U geomehničkim laboratorijima TVŠ u Ljubljani i »Geoistraživanja« u Zagrebu ispitan je veći broj uzoraka materijala s raznih mjesta klizišta. Uzeti su uzorci iz iskopa bijelog usjeka, glinoviti materijal iz usjeka ceste Zagreb—Rijeka i iz klizne zone u tunelima *a* i *b*. Ovi su se materijali sastojali od raspadnutih glinovitih rabeljskih škrljavaca i dolomita.

Laboratorijska ispitivanja pokazala su da raspadnuti glinoviti škrljavci daju glinoviti prah s nešto pijeska, a dolomiti glinoviti pijesak. Mjestimično nađu se i gline visoke plastičnosti (klasifikacija prema A. CASAGRANDE, STRMAC 1954). Ispitivanja su pokazala da se brijeg, iako sastavljen od stijena u geološkom smislu mekih, koje su zadržale prvobitnu škrljastu i kamenu teksturu, ipak mora smatrati sastavljenim od dobro zbijenog koherentnog tla s malom kohezijom i ulošcima još nepotpuno raspadnutih čvrstih stijena u obliku gromada i proslojaka.

Čvrstoća smicanja ispitivana je u kružnim aparatima za smicanje i u triaksialnom aparatu. U kružne aparate ugrađeni su poremećeni uzorci tla na granici žitkosti, a u triaksialnom aparatu poremećeni uzorci s vlagom, koja odgovara prirodnoj sadržini vlage u tlu. Rezultati dobiveni spornim dreniranim smicanjem uzoraka su sljedeći:

raspadnuti dolomitni lapor	30—36°
raspadnuti glineni škrljavci	20—26°

U tunelu *a* izvađeni su neporemećeni uzorci, koji su terenskim aksialnim aparatom ispitani na čvrstoću, te<sup>o</sup> je ustanovljena kohezija u neporemećenom stanju sa  $c = 3 - 3,5 \text{ t/m}^2$ .

Vlažnost neporemećenih uzoraka iz klizne zone tunela *a* iznosila je 18% (oko granice krutosti), zasićenost 100%, a porozitet  $e = 0,515$ .

U bijelom usjeku određena je također vlažnost i zapreminska težina materijala, pa je ustanovljeno da je vlažnost iznosila 14%, zasićenost 80%, porozitet  $e = 0,41$ , a suha zapreminska težina  $2,2 \text{ t/m}^3$ .

## RAVNOTEŽA MASA

Pod impresijom mišljenja geologa o položaju klizne plohe analizirao je prof Šuklje ravnotežu masa uz pretpostavku ravnih kliznih ploha koje leže u skladu s vidljivim rubovima klizišta (ŠUKLJE, 1953). Već su ove analize pokazale, da je poremećenje ravnoteže masa uz visoki kut trenja ustanovljen u laboratoriju moguće jedino sudjelovanjem strujnog tlaka uz visoki nagnuti nivo podzemne vode. Mišljenja o mogućnosti postojanja tako visokog nivoa bila su također podijeljena.

U toku studiranja mogućnosti sanacije premještanjem masa s hrpta na nožište klizišta ispitana je ravnoteža i po znatno dubljim kružnim kliznim ploham. Njihov položaj i oblik odabrani su u skladu s rubovima klizišta, te smjerom i veličinom pokreta na raznim točkama padine. Ova ispitivanja također pokazuju, da se klizanje može objasniti samo uz nagnuti nivo podzemne vode, a strujni tlak koji nastaje tečenjem vode prema padini otklanja gravitacionu silu u smjeru, koji je za ravnotežu nepovoljan. Bez poznavanja nivoa podzemne vode nije bilo moguće ustanoviti stvarne fizikalne uvjete klizanja. Tek pošto je mjerenjima ustanovljen stvarni položaj podzemne vode i njen nagib mogla se je kontrolirati ravnoteža masa uz realne pretpostavke. Provedeni grafički proračuni pokazali su, da je za ravnotežu na kružnim kliznim ploham potreban kut trenja od prosječno  $25^\circ$ . Ova se vrijednost dobro slaže s prosjekom laboratorijskih rezultata za glinovite škriljavce, dok je manja od vrijednosti dobivene za raspadnute dolomite. Budući da klizna ploha s manjim odstupanjima može slijediti na većim potezima slabiji materijal, može se pretpostaviti, da je rezultat proračuna u dobrom skladu s čvrstoćom materijala na smicanje kako je ustanovljena u laboratoriju. Kontrola ravnoteže uz pretpostavku, da je kut trenja  $\varrho = 0$ , a da se čvrstoća sastoji samo od kohezije pokazuje, da bi za ravnotežu bila potrebna kohezija  $c = 30 \text{ t/m}^2$ , dok je stvarno mjerena sa  $c = 3 - 3,5 \text{ t/m}^2$ . Iz toga je jasno da se klizanje odvija tako lagano, da se voda u porama uvijek prilagodi stvarnom tlaku, pa se u kliznoj plohi aktivira puna vrijednost čvrstoće smicanja.

Proračun prikazan na slici 16 izvršen je s ciljem da se razjasni prestanak ovisnosti intenziteta pokreta od oborina i postepeno smirivanje klizišta, koje je ustanovljeno tokom 1954. godine. Na osnovu mjerenih duljina pokreta točaka pomaknut je profil K'—L' kroz sredinu klizišta u položaj u kojem je približno bio prije nego su pokreti započeli i za taj položaj određen je potrebni kut trenja s  $25,5^\circ$ . Zatim je taj profil pomaknut u položaj, koji ima sada na odabranoj kliznoj plohi i za taj položaj ustanovljen je kut trenja s  $22,6^\circ$

Ta promjena trenja odgovara povećanju stabilnosti masa od 1,0 (kada je čvrstoća smicanja, iskorišćena) na 1,14 t. j. čvrstoća smicanja iskorišćena je sada s oko 88% njene pune vrijednosti.

Rezultat ove analize pokazuje, da je uslijed deformacije profila pokrenute mase postignuto prirodno povećanje njene stabilnosti, što objašnjava prestanak periodičnog povećanja pokreta i postepeno smanjenje njihovog intenziteta.

## OPĆA SLIKA I UZROCI KLIZANJA

Na području ovog velikog klizanja ima više tragova, koji pokazuju, da je na ovom mjestu i prije bilo velikih klizanja. Uvodno spomenuti put uz obronak vodio je neprirodnom udolinom na inače jednoličnoj padini, čiji se izdanak na sada nepokrenutom tlu vidi i na slici 3, te 17. Po ovoj udolini nastala je glavna gornja pukotina i prigodom sadašnjeg klizanja. U sjevernom dijelu klizišta ispod vrha hrpta vide se tragovi uvale starog školjkastog odrona, koja se seže do Sušice (slika 1). Vrlo je vjerojatno, da je erozivno produbljivanje potoka Sušice u toku vremena podrezujući nožište padine poremećivalo njenu ravnotežu uslijed čega je povremeno dolazilo do većih ili manjih pokreta masa cijelog brijega prema koritu potoka. Ali neposredni povod za sadašnje pokrete bez sumnje ne treba tražiti u potoku. Kroz bližu prošlost nije bilo jake erozije korita što dokazuje šumska vegetacija stara više decenija, a možda i generacija, koja raste do korita samog potoka. Mišljenje koje se ponekad čuje, da voda potoka raskvašavanjem tla smanjuje stabilnost brijega ne može izdržati nikakovu kritiku.

Oborinska voda, koja kroz gornje propusnije slojeve prodire u tlo, rastrošila je stijene od kojih se padina sastoji. Moguće je, da su sitnije čestice tla vodom postepeno prenošene u dublje slojeve, smanjujući njihovu propusnost, pa se i nivo podzemne vode dizao povećavajući postepeno aktivne sile i potencijalnu dispoziciju za pokrete tla.

Vjerojatno su za vrijeme sušnih godina nastajale manje pukotine kroz koje je voda u slijedećim vlažnim sezonama jače prodirala u tlo i tako je došlo do manjih pokreta, koji su ovu pojavu postepeno pojačavali, dok konačno 1950. godine nakon dulje suše nije za jakih jesenskih oborina došlo do prekoračenja ravnoteže i do velikih pokreta.

Ovisnost intenziteta pokreta o oborinama prikazana je na slici 11. Ona je logična posljedica nepovoljnog djelovanja strujnog tlaka na ravnotežu masa. Postepeno smanjenje ovog upliva može se objasniti poboljšanjem ravnoteže, koje je nastalo premještanjem masa uslijed pokreta sve većim micanjem masa i njihovim odupiranjem o protivni pokos korita potoka. Tome treba pribrojiti i poboljšanje drenaže prema koritu Sušice, nastalim razrahljenjem i raspucavanjem tla u nožištu klizišta. Jako vrelo sa 200 lit/min prije klizanja nije ni postojalo. Time je postepeno snižen nivo podzemne vode u tlu, koji je u početku pokreta morao biti viši nego što je sada.

Prikazana analiza ovog klizanja pokazuje, da je i u razlomljenim stijenama ravnoteža masa podložna istim zakonima, koji vrijede i za sipke mase, pod djelovanjem sile teže, uzgona i strujnog tlaka vode. Pretpostavke da su klizanja nastala po geološkim granicama između slojeva razne čvrstoće i propusnosti pokazala su se pogrešnim.

## PRIJEDLOZI ZA SANACIJU I ZAKLJUČCI

Iz svega što je iznešeno slijedi, da je klizanje u Zalesini prirodna pojava, koja nije nastala u vezi s ljudskom djelatnošću. Opseg klizišta i intenzitet pokreta impresionirali su tako, da je u početku prevladavalo

mišljenje, da se ono ne može smiriti i da se željezničku prugu mora preložiti na povoljniji teren. Prelaganje pruge bilo bi međutim vrlo teško zbog geološki nepovoljnog terena kroz koji bi morali proći tuneli. Tako je komisija već 1952. godine po sugestiji prof. Šuklje-a predložila, da se detaljnije prouči mogućnost stabilizacije pokrenutih masa prebacivanjem masa s hrpta brijega u dolinu Sušice.

Studija, koju smo u tu svrhu proveli pokazala je, da bi za povećanje faktora sigurnosti od 1,0 na 1,3 trebalo prebaciti oko 500 000 m<sup>3</sup> materijala. Reviziona komisija nije prihvatila projekt za stabilizaciju tim načinom, nego je tražila da se izvrši komparacija alternativnim rješenjem pomoću drenaže.

Alternativni projekt za smirenje klizanja drenažom predviđao je kopanje tunela ispod pokrenutih masa iz kojih bi se bušili horizontalni cijevni drenovi duljine 30 do 100 m pomoću kojih bi se tok podzemne vode skrenuo iz sadašnjeg smjera u smjer okomito prema dolje, te time promijenilo smjer strujnog tlaka od horizontalnog u vertikalni smjer prema dolje. Bilo je predviđeno oko 700 m tunela i 3500 m cijevnih drenova. Reviziona komisija usvojila je ovo rješenje, jer je bilo za cca 60% jeftinije od prelaganja masa. Projektant je ipak pretpostavljao prelaganje masa, jer se ono oslanja samo na djelovanje sile teže na mase koje poznamo, pa se djelovanje po njemu predviđenih radova može sigurno pretpostaviti i proračunati, dok djelovanje drenova koje ovisi o propusnosti tla i o gustoći drenova, ne može se unaprijed proračunati.

Analiza rezultata ispitivanja u 1954. i posljednjih podataka u smanjivanju pokreta pokazuje, da se klizanje prirodno smiruje. Radi toga predlaže se, da se za sada ne poduzmu opsežni radovi sanacije prema predloženim projektima, nego da se u slijedećoj godini provedu slijedeći radovi koji bi poboljšali postignutu prirodnu stabilizaciju:

1. zatvaranje svih pukotina kroz koje voda prodire u tlo i uređenje površinskih jaraka i kanala kojima se oborinska voda najkraćim putem odvodi izvan pokretnog područja.

2. ponovo pošumljenje cijelog pokrenutog područja s kojeg je mnogo stabala oboreno, jer su se uslijed pokreta nagnula,

3. kanaliziranje potoka Sušice u dijelu neposredno ispred nasipa, kako bi se osiguralo nesmetano otjecanje vode kroz propust ispod nasipa, prema projektu, koji je već usvojen,

4. prebacivanje zemlje dobivene proširenjem bijelog usjeka, koja je deponirana na padini iza njega, u uvalu korita Sušice ispred nasipa, čime se podupire nožište pokrenutog tla u neposrednoj blizini pruge i poboljšava stabilizirajuće djelovanje postojećeg nasipa.

5. bušenje nekoliko cijevnih drenova u horizontalnom smjeru iz korita Sušice dubine 100—150 m radi trajnog sniženja podzemnog vodostaja u tlu područja blizu pruge.

Preba i nadalje budno pratiti pokrete tla i prema potrebi pojačati drznažne bušotine ili kasnije eventualno prebaciti još mase na nožište pokosa radi povećanja stabilnosti i poboljšanja ravnoteže padine. Tako bi se postepeno izveli radovi u onom opsegu, koji će biti neophodno potreban za sigurnost saobraćaja na pruzi.

Na kraju izlaganja htio bih istaknuti korisnu suradnju, koju sam u ovim pitanjima imao s prof. dr. ing. Lujom ŠUKLJE-om s tehničkog fakulteta u Ljubljani i s prof. I. BOLČIĆEM iz Geološkog Zavoda u Zagrebu, od kojih sam tokom mnogih diskusija dobio više korisnih sugestija. Kod studiranja prikazanih problema bila mi je na raspolaganju arhiva Geološkog zavoda u Zagrebu i svi izvještaji komisija, koje su proučavale ovaj problem. Trebam također zahvaliti organima Državnih željeznica i posebno načelniku ing. D. Slavičeku i nadzornom inženjeru ing. B. Topolniku za pomoć i potporu, koju su pružili kod izvršenja programa istražnih radova, kao i za razumijevanje kojim su omogućili svestrano proučavanje ovog teškog i zanimljivog problema.

BIBLIOGRAFIJA:

- JANJIC M. (1952): Geološke karakteristike klizišta u Zalesini i Lupoglavu, Glasnik prirodnjačkog muzeja Srpske zemlje, Beograd, Serija S, knjiga 5, str. 177.
- ŠUKLJE L. (1953): Plaz pri Zalesini v rabeljskih plasteh, Gradbeni Vestnik, Ljubljana, V. št. 17—18.
- ŠUKLJE L. (1953): Iskustva iz analize dvaju velikih klizišta u Jugoslaviji, Naše Građevinarstvo, Beograd, br. 2, str. 8.
- NONVEILLER E., ŠUKLJE L. (1954): Landslide Zalesina, Proc. Eur. Conf. Stab. Earth Slopes, Stockholm, Vol I. p. 107.
- NONVEILLER E. (1954): Klizište Zalesina, (Referat održan na III. god. skupštini Jugoslavenskog društva za mehaniku tla i fundiranje, Sarajevo 2.—7. VI. 54, Građevinar br. 6, Zagreb.
- STRMAC A. (1954): Identifikacija i klasifikacija tla po prof. Casagrande-u Građevinar br. 5, Zagreb.

## LANDSLIDE ZALESINA

### SUMMARY

BY ERVIN NONVEILLER

A big landslide begun in 1950 near Zalesina on the main railway line Zagreb—Rijeka. A stretch of the railway, caught by the sliding masses — about 300 m long — was slowly raised. The traffic could be maintained only by continuous excavation and realignment of the track. Fig. 1 shows the morphology of the slide, about 500 m long, 300 m wide and 70 m deep. The mass involved amounts to some 5,000,000, m<sup>3</sup>. The section and the displacements of the sliding slope during 3 years of movement are shown on fig. 9. The slide occurred on the left slope of the ridge along the creek Sušica, including in its lower part the railway. The main fissure developed parallel to the ridge, bedding down to the creek bed on both ends. Several secondary fissures cover the surface of the slide.

The top of the ridge consists of Noric Dolomite (upper trias). The main sliding mass under the Noric is formed of shisty shales of the upper Raibl strata laying on reddish shisty shale of the lower Raibl. In greater depth there is permian shisty shale, emerging to the surface on the slope underneath the railway line.

In the middle of 1951 a net of fixed poles was set to survey the surface movements. The results of the observations are shown on fig. 11 on which the correlation between the movements and the precipitations during the early stages of the slide can also be seen. The sliding zone was located in two inspection galleries by observation of movements of the supports as shown in fig. 12. It was not possible to establish the sliding zone in the investigation borings.

The ground water elevation was observed by sensitive piezometers and in the investigation borings as well. A high ground water level sloping to the creek valley was recorded as shown on fig. 15.

Extensive laboratory investigations on samples taken from the inspection galleries and other points of the slide show friction angles ranging between 20° and 26° for clayey, and 30° and 36° for sandy samples of decomposed shale. The cohesion of undisturbed samples is very low, about 0,3 kg/cm<sup>2</sup>. Soil samples from the galleries were found to be saturated whereas the saturation of samples from the excavation in the railway cut was about 80%.

The stability analysis of the slope show that the sliding of the masses is possible only when considering of buoyancy and seepage forces of the inclined ground water. In fact, at the foot of the sliding masses several sources can be observed proving a ground water movement toward the slope. Fig. 16 shows the graphical analysis for the section K'—L'. The stability was determined for the shape of the slope before and after the slide occurred. A circular sliding surface was supposed, located in accordance with the boundaries of the slide, the position of the sliding zone in the galleries and the recorded movements of poles. The result is in good agreement with the established shearing resistance of the soil samples and explain the observed slackening of the movements during the last two years (fig. 11).



Two possibilities to stabilize the slope were studied. The first was to transport soil masses from the top of the ridge to the foot of the slide, the second to divert the flow of the ground water downwards by means of deep drains set out from galleries. Both solutions give an increase of stability of about 1,30 compared to the actual state. Considering the natural stabilization by deformation of the soil masses (fig. 16) it can be expected that measures to prevent percolation of precipitations and some deep drainage will already be sufficient to stabilize the slide.