

Primena fotogrametrije u geologiji

Fotogrametrija dobija poslednjih decenija sve veću i veću primenu. Ovim brzim, relativno jeftinim i tačnim načinom stvaraju se planovi koji služe kao topografska osnova za sva specijalna snimanja i proučavanja na terenu. U tom pogledu fotogrametrija, kao metoda izrade planova, u mnogome koristi i geologiji. Međutim, ovo nije jedini način upotrebe rezultata fotogrametrijskih snimaka. Geologija, specijalno, ima skoro i veće koristi od, da tako kažemo, »polufabrikata« procesa izrade planova po ovoj metodi. Može se sa pravom reći da su za geološka istraživanja najkorisniji snimci sa terena izrađeni u fotogrametrijske svrhe. Ova se činjenica mora posebno naglasiti u prvom redu zbog sve većeg razmaha geologije u našoj zemlji. Obuhvatanje sve kompleksnijeg polja zadataka i razgranavanja rada u širinu i dubinu traži, kao i u svakoj drugoj grani ljudske delatnosti, modernizaciju metoda i uvođenje boljih, tačnijih i efikasnijih načina obrade problema. U drugom redu ova se činjenica mora naglasiti i zbog toga, što današnja organizacija fotogrametrijske službe kod nas ne može da zadovolji potrebe geologije u ovom pogledu.

Geologija obuhvata, najšire posmatrano, ceo kompleks nauka o Zemlji — od opšte geologije, stratigrafije i paleontologije do mineralogije, petrografije, nauke o rudnim ležištima, geohemije, geofizike, inženjerske geologije i hidrogeologije. Za sva terenska proučavanja, vezana uz ove nauke, osnovni pitanje pretstavlja upoznavanje rasporeda različitih formacija na Zemljinoj kori. Ovo pitanje se rešava izradom geološke karte. Baš u ovoj, osnovnoj, geološkoj disciplini, dolazi do punog izražaja korist od fotogrametrije.

Osnovna potreba za kartirajućeg geologa je dobra topografska osnova. U rđavo otkrivenim terenima, gde su stene velikim delom pokrivene rudinom ili nanosima, geolog zapaža samo pojedine izdanke, fragmente geološke građe, i dolazi do celokupne slike tek povezivanjem ovih podataka. Da bi dobivena slika bila pravilna, potrebno je da topografska karta prikazuje teren sa mnogo detalja i bez većih grešaka i deoformacija oblika reljefa. Osnova koja nema ove osobine ne omogućava dovoljnu orijentaciju pri kartiranju, a nanešeni podaci ne daju vernu sliku građe terena. Naše topografske karte razmere 1:50.000 rađene su uglavnom prema podacima od pre nekoliko decenija, sa nekim izmenama izvršenim u novije vreme, te su dobrim delom zastarele. Karte većih razmera postoje za vrlo mali deo zemlje. Pošto je za naše geološke karte primljena kao standard razmera 1:50000, terenski radovi se vrše na topografskoj osnovi razreme 1:25000. One se izrađuju povećavanjem sa štampanih karata 1:50000, pa se tako povećavaju i sve netačnosti originalne karte

i jako otežava precizna orijentacija. Jasno je da ove teškoće sa topografskom osnovom u mnogom ometaju rad na geološkom kartiranju, i stvaraju problem i tamo gdje ne bi trebalo da ih bude. Već i u ovom pogledu naša geologija očekuje veoma mnogo od fotogrametrijskih ustanova — stvaranje dobre, tačne i detaljima bogate topografske karte krupne razmere.

Međutim, ni dobra topografska osnova ne rešava mnogobrojne praktične probleme koji se pojavljuju pri kartiranju. Sitan, sintentičarski rad geologa pri stvaranju geološke karte može se uporediti sa poslom mrava koji upoznaje fizionomiju nekog čovjeka lutajući po njegovom licu. On upoznaje mnogobrojne sitne detalje, ali veoma teško može iz svoje perspektive da obuhvati sliku celine. Geolog je, isto tako, vezan za zemljinu površinu, on zapaža detalje, ali celinu povezuje tek kad svoja opažanja nanese na kartu, pa i onda često sa velikim teškoćama. Rešavajući ovaj problem, geolozi su već odavno shvatili vrednost posmatranja iz ptičje perspektive — sa nekog vrha koji dominira nad terenom, a kasnije kada se pojavila avijacija — posmatranja iz aviona. Od ovih brzih i kratkih pregleda iz vazduha vodi direktan put do moderne tehnike korišćenja aerosnimaka u geologiji.

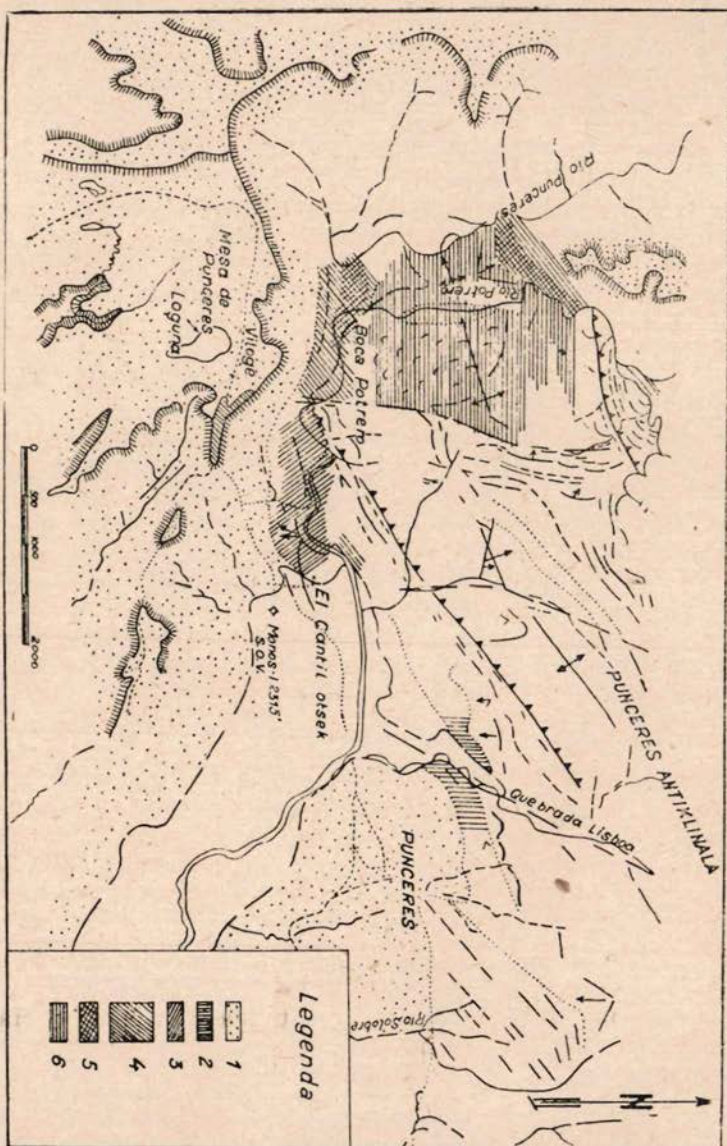
Posle prvih iskustava ovog tipa težilo se nalaženju načina konzervacije utisaka, radi stvaranja mogućnosti za dugotrajnija i egzaktnija ispitivanja. Logično rešenje se nalazi u fotografiji, i tako se razrađuje metoda kosih (panoramskih) snimaka iz aviona. Teren se snima koso, i prednji deo snimka koji nema prevelike perspektivne deformacije upotrebljava se za topografsku i geološku interpretaciju. Ovu metodu je naročito razradila Kanadska Topografska Služba, i upotrebila je pri snimanju ogromnih i pustih jezerskih predela na Laurentiskom štitu. Prema njihovim iskustvima ova metoda se može upotrebiti ako vertikalne razlike kota tačaka na snimljenom terenu nisu veće od 100 m. Za pregledne karte manje tačnosti nije razvijena nikakva terestrička kontrolna mreža. Snimanje se obično vrši sa visine od oko 1800 m, i to tako da se gornja ivica snimka nalazi nešto iznad horizonta. Na taj način se smanjuje veličina nepotrebnog prostora (nebo i udaljeni predeli bliski horizontu), a sačuvana je linija horizonta, potrebna za postupak prevođenja panorame u ortogonalnu projekciju. Za snimak su potrebni i podaci o fokusu kamere, položaj ose objektiva u trenutku snimanja, visina iznad terena i tačka u kojoj osa objektiva dodiruje teren odnosno negativ (na specijalnim kamerama ova tačka je obeležena). Izrada plana vrši se pomoću perspektivne mreže nanešene na snimak, sa koje se određeni objekti precrtavaju na pravougaonu mrežu.

Interpretacija geoloških struktura je ista kao i kod vertikalnih snimaka, o čemu ćemo govoriti kasnije. Svi zapaženi geološki oblici i linije iscrtavaju se na snimku i prenose pomoću perspektivne mreže na kartu.

Ova, mada jednostavna i gruba metoda, dala je vrlo dobre rezultate u Kanadi. Snimani tereni su izgrađeni pretežno od kristalastih škriljaca i granita, koji se po boji i strukturi reljefa međusobno vrlo dobro razlikuju. U najmlađim geološkim vremenima cela Kanada je bila prekrivena ogromnim ledenim štitom, koji je svojim kretanjem zaravnio i izglaćao ove predele. Zbog toga su oni blagog reljefa i dobro otkriveni. Izrada

topografske karte, povezana sa opsežnim geološkim, geomorfološkim i drugim studijama vršena je na ovaj način i na različitim drugim tere-nima. Poznata su snimanja koja je izvršila arktička ekspedicija na diri-žablu »Graf Cepelin«, naročito duž obala Nove Zemlje, Severne Zemlje i

Sl. 1. — Fotogeološka skica predela El Cantil, Venezuela. Izradena je interpretacijom aerosnimaka, u obliku topografske skice sa nanesenim podacima o rasprostranjenju slo-jeva i tektonskim elementima. Legenda: 1. Mesa; — 2. Guayuta grupa?; — 3. Chimana; — 4. Borracha nupšte; — 5. Formacija Carcia; — 6. Barranquin. Po E. Rod u i W. Mayn cu.



poluostrva Tajmir. Ovi radovi dali su kartu u razmeri 1:120000, a obrada snimaka je pružila odlične geografske, glaciološke i geološke podatke. Snimanje Peruvijanske vulkanske oblasti koja je tridesetih godina orga-nizovalo Američko geografsko društvo vršena su delimično i metodom

kosih snimaka, koja je ovde, srećno kombinovana sa vertikalnim snimcima, dala sjajne rezultate u proučavanju i prikazivanju vulkanskih oblika. U našim terenima se ova metoda većinom ne bi mogla upotrebiti u geološke svrhe, jer je jedini veći predeo koji ispunjava uslove reljefa (Panonija) za sada geološki manje interesantan.

Iako ograničeno upotrebljivo u domenu kombinovanog topografsko-geološkog snimanja, perspektivno snimanje se veoma dobro može upotrebiti za ilustraciju geoloških odnosa nekog predela. Ovakvo prikazivanje je naročito pogodno ako se na snimku iscrtaju geološke granice i načini blokdiagram kombinovanjem sa dva profila kroz teren.

Upotreba vertikalne aerofotogrametrije

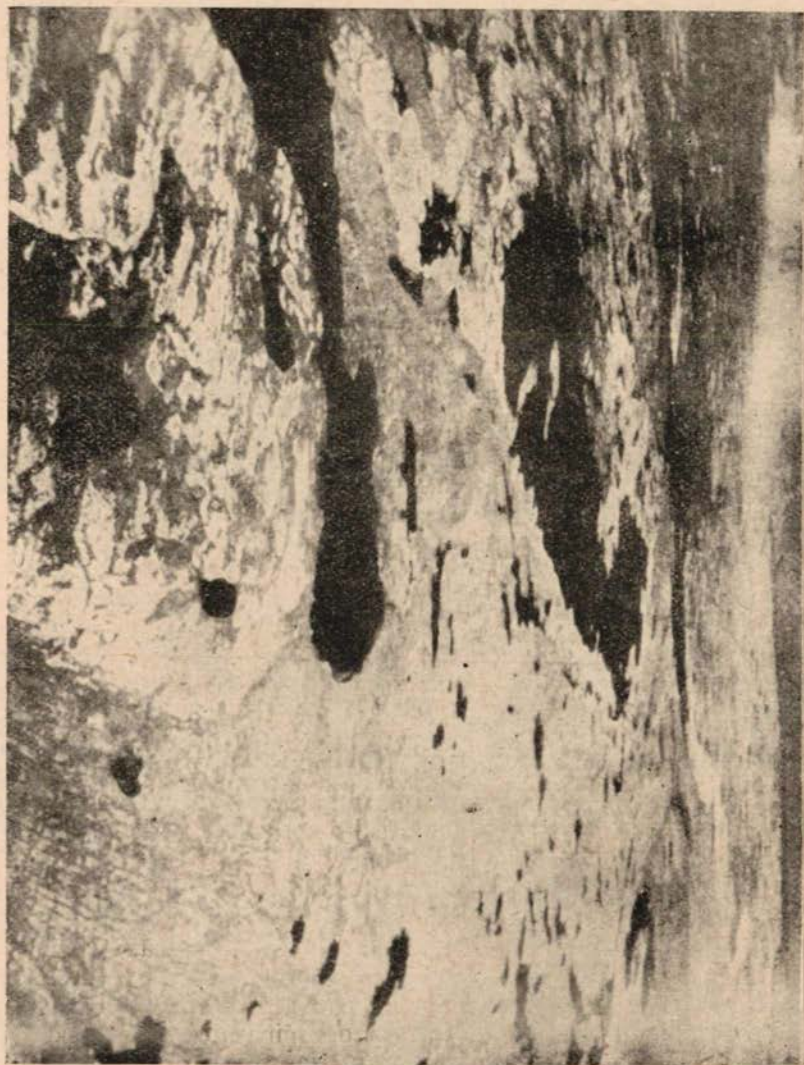
Mnogo egzaktniji način topografskog snimanja predstavlja vertikalna aerofotogrametrija, a njeni produkti i poluprodukti daju daleko veće mogućnosti za upotrebu u geologiji. Ranije je već rečeno da su sami snimci mnogo korisniji geologu enog topografska podloga načinjena pomoću njih. Oni predstavljaju a) odličnu topografsku podlogu i b) model terena.

a) Snimci kao topografska podloga

Već je rečeno, da je stalna i precizna orijentacija jedan od osnovnih zahteva koji se postavljaju geologu pri kartiranju, i da naša osnova 1:50.000 nije dovoljno pogodna za ovu svrhu. Pri mnogobrojnim montan-geološkim i inženjerskim radovima koji se izvode na osnovama većih razmera problem je još daleko veći. Kao osnova velike razmere postoji u našoj zemlji katastarski plan 1:10.000, koji je po svojoj nameni i tretiranju zemljišta neupotrebljiv za geološka snimanja, pa su zbog toga pri svakom ovakvom radu potrebna spora, skupa i dugotrajna snimanja odgovarajuće osnove. Iskustvo je pokazalo da su za terenski rad snimci izgrađeni za potrebe vertikalne aerofotogrametrije daleko pogodniji od snimljene osnove. Vernost prikazivanja zemljišta, bogatstvo detalja, a naročito mogućnost stvaranja stereoskopskog modela terena daju snimcima veliku prednost. Iako postoje mnoge pomoćne metode orijentacije na karti, prepoznavanje stajališta na snimku obično oduzima daleko manje vremena i vrši se sa većom tačnošću. Izuzetak predstavljaju samo neke specifične oblasti, na primer guste i ravnomerne šume na monotonom reljefu gde snimci (kao, uostalom, ni plan) ne omogućuju dobru orijentaciju.

Da bi se snimci sa uspehom mogli upotrebljavati kao topografska osnova, potrebni su izvesni tehnički uslovi. U prvom redu, snimci moraju biti dovoljno kontrastno kopirani, i to na mat hartiji. Hartija visokog sjaja daje oštru i briljantnu sliku, ali ne prima olovku niti boju, pa je veoma nezgodna za terenski rad. Iskustvo je pokazalo da su snimci sa srednjom razmerom 1:20 000 i 1:25 000 manje pogodni za detaljan terenski rad, jer su objekti previše sitni i ne zapažaju se dobro. Snimci sa razmerom 1:10 000 imaju dovoljno detalja i dobro se mogu koristiti pri kartiranju. Geolog koji kartira mora biti dobro priučen na rad sa snimcima, a naročito je važno da ima dovoljno vežbe u stereoskopskom viđenju

bez mehaničkih pomagala. Stereoskopi, koji su neophodni za dužu sistematsku obradu u birou, predstavljaju balast na terenu a orijentacija na jednom snimku je mnogo teža nego na stereoparu, naročito u blago i komplikovano zatalasanid predelima.



Sl. 2. — Kosi snimak jednog jezerskog predela u Kanadi, i fotogeološka skica dobivena interpretacijom snimka. Granitne mase se dobro poznaju po svom svetlijem tonu i rešetku koji se razlikuje od oblika u okolni škriljcima (po L. E. Nugentju).

Deformacije po kojima se snimak kao radialna projekcija razlikuje od plana kao ortogonalne projekcije, većinom su od sekundarnog značaja za geologa i ne smetaju mu u radu. Najvažniji nedostatak snimaka predstavlja odsustvo kota i imena mesta, pa je topografska karta izak neopodna dopuna.

b) Snimci kao model terena

Susedni snimci, rađeni za vertikalnu aerofotogrametriju, preklapaju se obično za 60% tako da je svaka tačka obuhvaćenog područja snimljena dvaput, iz dva različita položaja. Ova činjenica, na kojoj bazira dalja izrada plana, za geologa je veoma važna jer mu omogućava da dobije stereomodel svakog dela terena. Već je pomenuto da ovo veoma olakšava orijentaciju. Mnogo je važnije, međutim, da geolog na ovaj način može pri kartiranju u svakom trenutku da izvrši pregled svih zapaženih podataka i da dobije njihovu opštu prostornu sliku jednostavnim posmatranjem odgovarajućeg stereopara. Na taj način on uspeva da bolje sagleda i poževe pojedinosti.

U predelima koji su dobro otkriveni i imaju raznolik geološki sastav avionski snimci predstavljaju skoro u potpunosti potencijalnu geološku kartu, na kojoj treba samo izvući granice i tektonske linije i odrediti starost i sastav pojedinih formacija. Ipak, sličnost takvih snimaka i geološke karte je samo delimična. Geološka karta je, ako se tako može reći, samo parcijalna slika jednog terena. Na njoj su zanemareni detalji kultura, objekti na površini, kao i celokupan rastresiti i rudinski pokrivač, dok su geološki podaci veoma detaljno razrađeni. Sličan je i odnos snimka i geološke karte. Snimak daje mnogobrojne detalje površine, i predstavlja njenu objektivnu sliku dok geološka karta interpretira strukturu stanoovitog terena ispod tog površinskog pokrivača. Zato su snimci samo pomoćno sredstvo uz klasične terestričke metode geološkog kartiranja, a samo u posebnim slučajevima služe i za isključivo fotogeološku interpretaciju.

Avionski snimci se mogu upotrebiti u obe faze rada geologa, dakle prepolaska na teren i na samom terenu, kao i pri konačnom pregledu rada u birou.

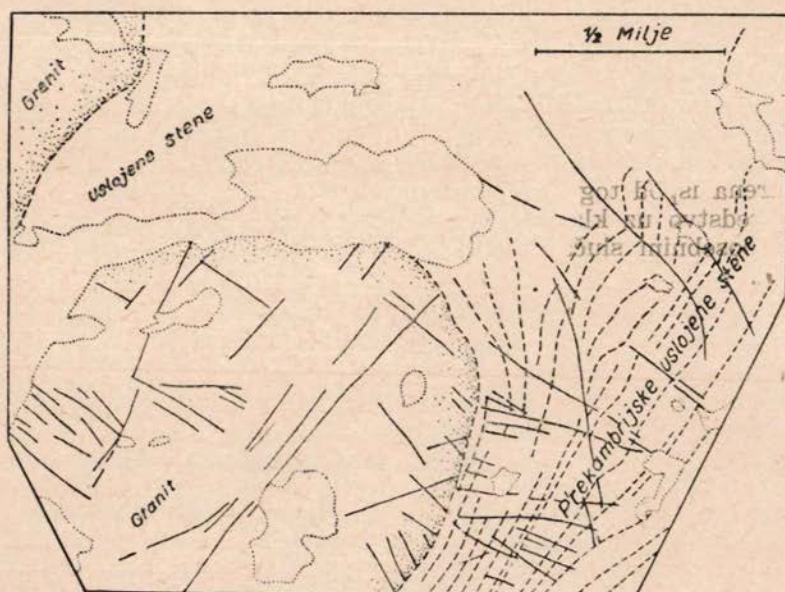
Pre polaska na teren geolog može da izvrši opšti pregled područja po snimcima, koji po vrednosti ne zaostaju za pregledom dobivenim letenjem iznad predela. On na taj način upoznaje opštu konfiguraciju reljefa, prohodnost, položaj puteva i staza i slično, a kao najvažnije zapaža položaje izdanaka i opšti stepen i način obnašenosti terena. Ukoliko postoji kakva pregledna geološka karta date oblasti, on se upoznaje sa opštim izgledom pojedinih formacija na snimcima, i prema principima geološke interpretacije u većini slučajeva može i da načini izvesnu prethodnu, delimičnu, geološku kartu. U pokrivenim terenima snimci pokazuju položaje izdanaka, i na taj način geolog uštedi mnoge radne časove koje bi utrošio na traganje za njima.

Na samom terenu snimci služe kao topografska osnova višeg kvaliteta, koja u isto vreme pokazuje mnoge činjenice o geološkoj građi predela, nevidljive pri običnom kartiranju. U našim karsnim predelima, na primer, orijentacija po karti je veoma teška, po nekad i nemoguća, a mnoštvo karsnih oblika čini opštu sliku nepreglednom. Takve krećnjačke mase su vrlo često ispresecane snažno izraženim pukotinama upravnim na pružanje slojeva, koje mogu imati važnu hidrogeološku i tehničku ulogu. Pri kartiranju se ove pukotine uopšte ne primećuju, dok su na snimcima vrlo jasno izražene. Na teško pristupačnim padinama primor-

skih planina, naročito ako su obrasle retkom makijom, teško se zapažaju transverzalni i dijagonalni rasedi, ukoliko su profili po kojima je teren pređen, nešto redi. Ovi rasedi se na snimcima jasno zapažaju, naročito ako presecaju petrografski različite planove serije. U svakom slučaju, pri upotrebi snimaka može se velikim delom i čak i potpuno izbeći jedan od najnapornijih poslova geološkog kartiranja — praćenje granica formacija.

Interpretacija geoloških podataka na snimcima

Na dobro kopiranom, jasnom i kontrastnom snimku postoje mnogobrojni znaci koji ukazuju na geološke osobine terena. Jasno je, da na snimku dobro otkrivenog predela tih podataka ima više nego na snimku potpuno pokrivenog; ipak i u ovom drugom slučaju ima znakova koji pomažu za indirektno određivanje granica.



Kao glavni mogu se navesti sledeći kriterijumi za geološku interpretaciju snimaka:

- 1) oblici drenažnog sistema (hidrografija)
- 2) karakter erozije na otkrivenim formacijama
- 3) reljef pokrivenih predela
- 4) raspodela vegetacija
- 5) boja, odnosno ton tla.

1) **Oblici drenažnog sistema.** — Osnovna razlika se može načiniti između terena građenog od homogene serije, odnosno od horizontalnih slojeva i terena građenog od heterogene serije, naročito ako je ona intenzivno ubrana, sa naglašenom orijentacijom pružanja slojeva. Kao

primer ovakve različitosti mogu se uzeti kristalasti škrljci iz naših Rodopa (Južna Srbija i deo Makedonije) u kojima preovladava dendritičan raspored drenažnih linija, a ko suprotan primer neke zone u Dinaridima, gde veći tokovi imaju pravac severozapad-jugoistok, a manji normalno na njih.

Rečni tokovi često prate veće tektonske linije — rasede, ili su uslovljeni sistemima pukotina i manjih raseda.

2) Karakter erozije i mikroreljef. — U ovom pogledu su naročito karakteristični krečnjaci sa lako приметnim škrapama, vrtačama i pukotinama, zatim dolomiti sa svojstvenim reljefom, flišni sedimenti (lporci, peščari, konglomerati) sa blagim i zaobljenim oblicima, a često i magmatske stene, kad obrazuju istaknute delove terena blažeg oblika. Proučavanje karakteristika mikroreljefa i mezoreljefa pojedinih formacija pretstavlja danas u području fotogeološke interpretacije jedno od najvažnijih polja.

3) Reljef pokrivenih predela. — I u predelima koji su pokriveni zapažaju se na snimcima neravnine u reljefu na sektorima građenim od čvršćih stena. Ova pojava je posledica selektivne erozije — razarajući agensi su sa više uspeha delovali na manje otporne stene i obratno, te se otpornije stene pojavljuju u reljefu kao istaknute neravnine, mada nema njihovih izdanaka. Dok su na snimcima ove izbočine lako vidljive, pri terenskom snimanju se one obično i ne mogu registrovati.

4) Raspodela vegetacije. — Prema svom raznolikom hemiskom sastavu različite formacije daju manje ili više pogodnu podlogu za razvitak flore. U pokrivenim i zaravnjenim predelima ova činjenica često omogućuje odličan pregled raspodele stena. Veoma je čest slučaj da su rasedi i slične tektonske linije dobro vidljive na snimcima, jer je drveće gušće izraslo po tim zonama smrvljenog materijala.

5) Boja, odnosno ton tla. — Na dobr otkrivenom terenu se formacije često vrlo dobro razlikuju tonom na snimku. Rudina koja nastaje raspadanjem stena takođe često ima karakteristično raznolike tonove, što omogućava i geološku interpretaciju pokrivenog terena.

Na osnovu ovakvih kriterija izvršena su kombinovana terenska geološka snimanja i fotointerpretacije mnogih i različitih terena. Najviše iskustava je sakupljeno na golim predelima sa suvom klimom (Teksas, Arizona, Centralna Azija). U ravničarskim naftonosnim predelima Sjedinjenih Država otkrivene su fotogeološkim metodama mnogobrojne dome sa bogatim ležištima nafte, koje se sa površine terena uopšte ne zapažaju. Na snimcima s uone neobično jasne i oštro ocrtane. Čak i u oblastima prašuma je na mnogo mesta izrađena pregledna geološka karta interpretacijom snimaka, iako ovi predeli nisu naročito pogodni za većinu istraživanja fotografskim putem (Kanada, delovi Sibira, Centralna, delom i Istočna Afrika). U Kolvo-Višerskoj oblasti, u Sibiru, izdvojene su na ovaj način permske terigene tvorevine sa pojavama karsta. Iako pokrivena gustim šumama, ove skaršćene formacije na snimcima pokazuju svoj tipičan mikroreljef.

Naročito su zanimljiva iskustva iz Britanske Eritreje. Za ovu oblast severoistočne Afrike postojala je samo šematska, pregledna geološka karta, izrađena pomoću veoma retkih i brzo pređenih profila. Poslednjih godina je fotogrametski snimljena cela Eritreja, pa je zatim detaljno geološki kartiran obalski pojas — ispresecan komunikacijama, lako pristupačan i građen od raznolikih formacija. Ispitivanjem ovog dela zemlje upoznate su fotokarakteristike geoloških formacija koje su otkrivene u Eritreji, pa je na osnovu ovih iskustava izvršena interpretacija snimaka ostalog dela zemlje. Ovo kartiranje je izvršeno za relativno veoma kratko vreme, a dobivena je dobra pregledna karta.

Terestrička fotogrametrija u geologiji

U visokoplaninskim regionima, gde se razlike kota ekstremno menjaju na malim rastojanjima, vertikalna fotogrametrija ne daje povoljne rezultate za izradu planova. Iz istih razloga je ona još nepovoljnija za geološku interpretaciju, jer su planinske strane jako deformisane na snimcima zbog svog skoro vertikalnog položaja. Za ovakve terene je razrađena metoda terestričke fotogrametrije, koja je sa uspehom upotrebljena za geološko kartiranje nekih oblasti Švajcarske. Lep primer ovako izrađene karte pretstavlja detaljan plan Mont Dolina (Valais) u razmeri 1:5 000. Snimci dobiveni fototeodolitom Wild na pločama 10x15 cm upotrebljeni su za izradu detaljne topografske karte i kao osnova pri geološkom kartiranju. Na isti način su konstruisani kombinacijom isečaka snimaka i ucrtanih geoloških detalja veoma instruktivni geološki profili i blokdiagrami ovog vrlo komplikovanog alpskog terena.

Primena aerofotogrametrije pri geološkom snimanju u našoj zemlji

U današnjim uslovima aerofotogrametrija ima za našu geologiju uglavnom vrednost kao metoda izrade detaljnih i tačnih planova, dakle kao metoda izrade topografske osnove. Za mnogobrojne geološke radove na specijalnim kartama velike razmere vršene su poslednjih godina topografska snimanja koja su duga i skupa. Izradom plana cele zemlje aerofotogrametrijskim metodama dobili bismo dobru osnovu za sve ovakve radove. Međutim izvršenje ovakvog regionalnog zadatka traži vrlo velika finansijska sretstva i vreme, i — sa gledišta geologa — napreduje veoma lagano. Pošto je sada snimljen samo vrlo mali deo zemlje, naročito NR Srbije, geološka služba ima još uvek malo koristi od primene fotogrametrije. Izrada planova ovom metodom, na koju su postojeće fotogrametriske organizacije danas jedino orijentisane, ne dolazi u obzir pri izradi geoloških karata većih predela, u prvom redu zbog cene ovih radova, zatim zbog razmere, kao i zbog utroška vremena. Kao što je ranije pomenuto, za geologa imaju veću vrednost sami snimci nego planovi izrađeni na osnovu njih, jer se mogu upotrebiti kao osnova i za direktnu interpretaciju. Veoma je važna činjenica, da samo snimanje staje 12 do 15 puta manje nego kompletna izrada plana, i može se izvršiti za veoma kratko vreme. Nažalost, u našoj zemlji je ova služba tako organizovana da ne vrši samo snimanja nego potpunu izradu planova. To praktično

znači, da mnogobrojne ustanove koje se bave specijalnim problemima vezanim za terenska proučavanja (geološke, geografske, šumarske, hidrološke, biološke, rudarske, urbanističke i mnoge i mnoge druge) mogu da se služe snimcima samo za malen deo zemlje, dok im se finansijski ne isplati fotosnimanje za svoje potrebe, jer je vezano za izradu planova. Na taj način je primena ovog neobično korisnog sretstva — avionskog snimanja, jako ograničena i skućena na upotrebu u slučajima kada snimci već postoje. Sa geološkog stanovišta može se samo poželeti da naši zavodi za fotogrametriju počnu i sa snimanjem bez izrade plana što je u inostranstvu opšte prihvaćeno i pokazalo se kao neobično korisno.

ABSTRACT

All geological sciences baser their field explorations on geological mapping. In this work the use of photogrammetry is very advantageous as a method of plane making, and the application of stereopairs is of an oven greater importance. The photographs can be used in all phases of field work as topographich baser or for straight photogeological interpretations. Panoramic (obliques) photographs are used for general view mapping with succes as much as the ground photogrammetry for mapping in high mountainous country. Up to now, the use of photogrammetry for geological purposes was very limited in our country. From the geological point of view it hould be very useful if the existing photogrammetric institutes made also photographs without plane drafing.