RADOVI

INSTITUTA ZA GEOLOŠKO-RUDARSKA ISTRAŽIVANJA I ISPITIVANJA NUKLEARNIH I DRUGIH MINERALNIH SIROVINA

GODINA IX / BROJ 9 / BEOGRAD 1974.

REDAKCIJSKI KOLEGIJUM:

Stanislav Višić
Milorad Arsenijević
Stevan Divljan
Radoman Đurović
Nadežda Krstić
Veljko Omaljev
Aleksandar Pavlović
Radovan Simonović

ODGOVORNI UREDNIK

Radosav Pantić

Tiraž: 500 primeraka

Štampa: Grafičko preduzeće »Radiši Timotić«, Beograd, Jakšićeva 9

SADRŽAJ — CONTENTS

Str.
Page

1. Đorđe Klajn i Milan Ristić: Geološko-strukturna građa, metalogenija i perspektivnost planine Belasice za nalazak ležišta urana 1

   Đorđe Klajn and Milan Ristić: Geological and structural features, Metallogenesis and perspectivity of Belasica Mountain related to uranium mineral deposits 19

2. Veljko Omaljev: Geološko-petrološka građa terena Pariz-Kuh-i--Pandž u Iranu 21

   Veljko Omaljev: Geological and petrological features of Pariz-Kuh--e-Panj area — Iran 49

3. Veljko Omaljev: Istraženost i metodologija proračuna rezervi ležišta urana Žirovski vrh 53

   Veljko Omaljev: Level of exploration and metodology of ore reserves calculations in Žirovski veh uranium deposits 90

4. Dušan Radusinović: Mineralni sastav i genetske karakteristike olovo-cinkovog rudnog ležišta Farbani potok na Novom brdu (SR Srbija) 93

   Dušan Radusinović: Farbani Potok lead-zinc deposit 113

5. Stanimir Putnik: Orudnjenje bakra u dijabazu Taorske rečice . . 115

   Stanimir Putnik: Copper-bearing zone of Taorska rečica . . . 122

6. Dušan Kleut i Dragoslav Naumović: Pojave rude bakra na Suvoj planini 123

   Dušan Kleut and Dragoslav Naumović: Copper mineral occurrences in Suva Planina, Serbia 134

7. Vladan Simić i Spasoje Konjević: Metodologija prospekcije i istraživanja urana u Jugoslaviji 137

   Vladan Simić and Spasoje Konjević: Metodology of uranium exploration in Yugoslavia 144

8. Nevenka Simić: Koeficijent emaniranja ruda urana, njegov značaj, načini određivanja i praktična primena 147

   Nevenka Simić: Emanation coefficient of uranium ore, its significance, methods of determination and practical aplication 161

9. Ružica Nedimović: Određivanje olova, cinka, bakra i titana pomoću prenosnog analizatora fluorescentnog X-zračenja 163

   Ružica Nedimović: Determination of lead, zinc copper and titanium by portable X-ray fluorescence analyser 187

Str.
Page

10. Nevenka Simić i Strahinja Kurdulija: Obračun integralnog nivoa individualne ekspozicije od radona, radioaktivne prašine i spoljnog zračenja za radnike istražnih radilišta i rudnike urana . . . 189

Nevenka Simić and Strahinja Kurdulija: Calculation of integral level of individual exposure to radon, radioactive dust and environmental radiation of workers in exploration and mining of uranium 199

11. Mladen Ignjatijević: Prilog izučavanju karakteristika tla na bazi primene nuklearnog zračenja 201

Mladen Ignjatijević: Contribution to the study on the determination of some physical parameters of soil — as water content, density of dry material, compression and porosity, based on aplication of nuclear radiations 208

12. Slobodan Vukašinović: O savremenoj tehničkoj opremi za visokoprecizna aeromagnetska ispitivanja i mogućnostima proširenja polja primene aeromagnetske metode u geologiji 209

Slobodan Vukašinović: On the modern equipment for high precise airborne magnetic investigation and the possibilities of wider application of aeromagnetic method in geology 215

13. Milorad Arsenijević: Neka zapažanja o mogućnosti primene lasera u mineraloškim i geohemijskim ispitivanjima 217

Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina. Sveska 9, 1974. godine

ĐORĐE KLAJN
MILAN RISTIĆ

UDK: 55+551.24:553.495 (497.17)

GEOLOŠKO-STRUKTURNA GRAĐA, METALOGENIJA I PERSPEKTIVNOST PLANINE BELASICE ZA NALAZAK LEŽIŠTA URANA

(sa 1 slikom i 1 prilogom)

Planinski masiv Belasice bio je više godina predmet geoloških istraživanja radi otkrivanja ležišta nuklearnih sirovina, kako zbog složene geološke građe u kojoj preovlađuju stene granitske magme, tako i zbog svog povoljnog položaja u strukturnoj građi SFRJ. Istraživanja su uglavnom izvršena primenom radiometrijske prospekcije, manjim obimom geofizičkih i geohemijskih ispitivanja i manjim rudarskim radovima i dubinskim bušenjem.

U radu se pored razmatranja geološko-strukturnih, petroloških i geohemijskih problema vezanih za metalogeniju i perspektivnost uranonosnog vulkanogeno-plutogenog kompleksa zapadnog dela planine Belasice, daje i metodologija istraživanja skrivenih ležišta urana, na čije postojanje ukazuju sa određenom verovatnoćom izvršena istraživanja i metalogenetska izučavanja.

UVOD

Vulkanogeno-plutogeni kompleks zapadnog dela planine Belasice, u kome preovlađuju stene granitske magme, bio je više godina sistematski istraživan radi otkrivanja ležišta urana sa izdankom na površini, kako zbog svoje geološke građe i položaja u regionalnim geološkim strukturama, tako i zbog nalaska velikog broja mineralizacija urana i anomalija radioaktivnosti.

Granit-porfirski i riolitski kompleks zapadnog dela planine Belasice ocenjen je izvršenom metalogenetskom i prognoznom studijom (1969) kao perspektivan za nalazak skrivenih endogenih orudnjenja urana, a isto tako kompleks klastičnih sedimenata Strumičkog polja. Na osnovu takve ocene preduzeta su u 1970. godini nešto kompleksnija istraživanja na osnovu čijih je rezultata napravljena nešto preciznija prognoza i utvrđena metodologija pomoću koje se mogu dati precizniji odgovori na pitanje postojanja ili nepostojanja produktivnih orudnjenja urana u ovom području.

Planina Belasica nalazi se na krajnjem jugoistoku SR Makedonije, na tromeđi državnih granica Bugarske, Grčke i Jugoslavije i samo deo njenih severnih i zapadnih padina pripada našoj zemlji.

Orografski se planina Belasica pruža pravcem I—Z sa srednjom visinom glavnog bila 1.600 m. Morfološki ovo se područje odlikuje visokim vrhovima (i preko 2.000 m.) čije se padine strmo spuštaju ka Dojranskom jezeru i Strumičkom polju. Doline površinskih vodenih tokova su duboko usečene i veoma su strmih padina. Ovi tokovi nisu mnogobrojni i pripadaju slivu Egejskog mora. Oni su bujičnog karaktera, stoga je erozija veoma intenzivna te su donji tokovi potoka i rečica i obodni deo Strumičkog polja zasuti nanosom.

Istorijat. — O masivu planine Belasice nema mnogo podataka u geološkoj literaturi. Prva kraća saopštenja o petrografiji ovog područja nalaze se u radovima J. Cvijića, J. Tomića i B. Dimitrijevića. Prvu geološku kartu izradio je K. Osvald u razmeri 1 : 400.000, dok se nešto detaljniji petrografski podaci nalaze u radu O. H. Erdmansdörfer-a.

Izučavanja radi otkrivanja ležišta urana započeta su 1948. godine ispitivanjem koncentrata rečnih nanosa, a prva prethodna prospekcija sa Gajger-Milerovim brojačima izvršena je 1950. godine (M. Ristić), a kasnije je izvođena i obimnija prospekcija sa beta-gama brojačima. Tada su otkrivene mineralizacije urana Đupski poroj, Bizava ritka i druge, a na nekim od njih su još 1951. godine izvođeni i rudarski istražni radovi malog obima.

Na osnovu podataka regionalne radiometrijske prospekcije i geološkog kartiranja izvršena su u okolini Strumice 1954. i 1955. godine poludetaljna i detaljna istraživanja (Đupski poroj, Široki do, Bizava ritka).

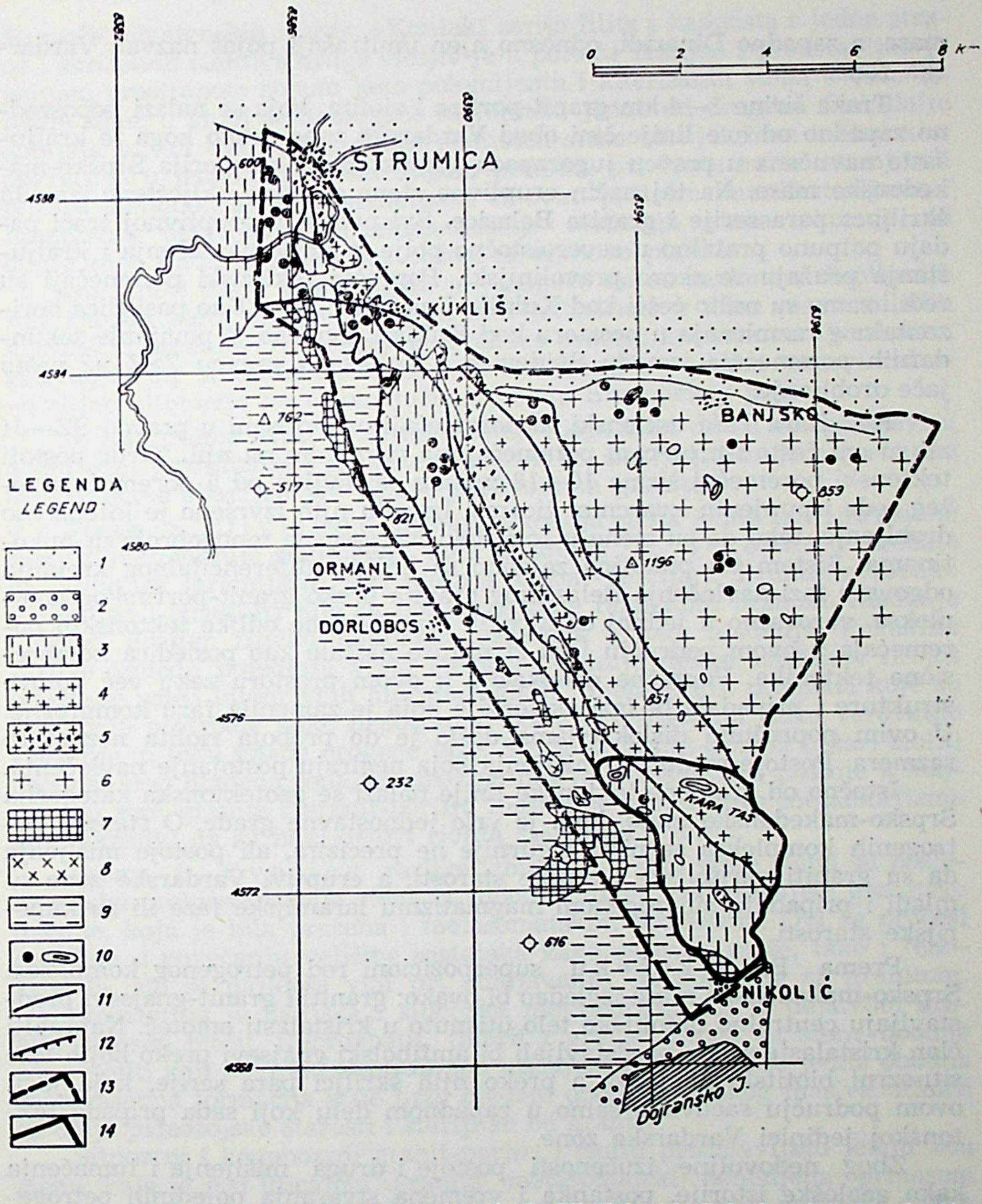
Regionalnom geološkom prospekcijom u toku 1956. godine otkriveno je na planini Belasici nekoliko mineralizacija urana, koje ranije nisu bile uočene. Godine 1959. u ovom je prostoru vršena hidrohemijska i aeroradiometrijska prospekcija, a nastavljeno je i sa proverom mineralizacija urana otkrivenih ranije. Uporedo sa ovim izučavanjima vršena je poludetaljna prospekcija, ali su najobimniji radovi izvođeni na lokalnosti Kara Taš. Radovi su ovde obustavljeni 1960. godine kada se i završava istraživanje urana na planini Belasici.

Godine 1965. izvršena je analiza radova (A. Antonović, V. Vujanović i S. Višić) i data procena perspektivnosti ove oblasti uglavnom negativna.

Godine 1969. M. Ristić sa saradnicima izvršio je izučavanje svih postojećih podataka o istraživanju urana na planini Belasici i izvršio je metalogenetsku analizu sa izradom prognozne karte. U toku 1970. godine izvršena su izučavanja radi objašnjenja nekih problema veoma važnih za procenu perspektivnosti i mogućnosti nalaska produktivnih orudnjenja urana (M. Cukućan, Đ. Klajn), kao i da bi se utvrdila metodologija za otkrivanje skrivenih ležišta urana u ovom području.

GEOLOŠKO-STRUKTURNA GRAĐA PLANINE BELASICE

Područje planine Belasice nalazi se na sučeljavanju dve geotektonske kategorije i to: Srpsko-makedonske mase i Dinarida. Tektonska linija Svidovica — Ključak česma — Ismaili Kara — Karani — Nikolić (Dojransko jezero) pružanja SZ—JI obeležava graničnu liniju između ovih dveju tektonskih kategorija. Istočno od ove linije nalazi se Srpsko-makedonska



Slika br. 1. Geologija prema M. Jakovljević, B. Sikošek, M. Cukućan i A. Pavlović. 1. nanos, 2. jezerski nanos, 3. škriljavi riolit, 4. sitnozrni granit-porfir, 5. krupnozrni granit-porfir, 6. granit, 7. amfibolit, 8. mikrodiorit, 9. kalkšist sa proslojcima filita, 10. anomalije radioaktivnosti i mineralizacije urana, 11. tektonske linije, 12. linije navlačenja, 13. regionalna ispitivanja do 1970. godine, i 14. detaljna ispitivanja u 1970. godini.

Fig. № 1. Geology by M. Jakovljević, B. Sikošek, M. Cukućan and A. Pavlović. 1. alluvial deposits, 2. lacustrine deposits, 3. schistous rhyolite, 4. finegrained granite porphyry, 5. coarse grained granite porphyry, 6. granite, 7. amphybolite, 8. microdiorite, 9. calc-schist intercalations with phyllite, 10. radioactive anomaly and uranium mineralizaton, 11. lines of structural displacements, 12. lines of overthrust, 13. areas covered by regional investigation, and 14. detailed investigation in 1970.

masa, a zapadno Dinaridi, odnosno njen unutrašnji pojas nazvan Vardarska zona.

Traka širine 3—4 km granit-porfira i riolita, koja se nalazi neposredno zapadno od ove linije čini obod Vardarske zone preko koga je kraljušasto navučena u pravcu jugozapada geotektonska kategorija Srpsko-makedonske mase. Na taj način eruptivne stene su ovde uklještene između škriljaca para serije i granita Belasice. Svi padovi u eruptivnoj traci padaju potpuno pravilno u severoistočno polje, a linije navlačenja i kraljuštanja pružaju se skoro pravolinijski. Poprečni tektonski poremećaji suređi i samo su nešto češći kod Kukliša i na Kara Tašu. Kao posledica horizontalnog razmicanja u prostoru kod Kukliša izvršeno je povijanje sekundarnih poremećaja između Svidovice i Kukliša u pravcu ZSZ uz nešto jače drobljenje.

Kod Kara Taša tektonski su poremećaji orijentisani u pravcu SZ—JI ali su oni često ispresecani poremećajima upravnim na njih. Ovde postoji tektonski poremećaj širine 10—18 metara sastavljen od 5 poremećaja nižeg reda ispunjenih kvarcnim žicama. Između njih izvršeno je intenzivno drobljenje, tako da su stene u tom delu ispresecane mnogobrojnim pukotinama. Sistem tih pukotina zajedno sa linijom diferencijalnog kretanja odgovara fazi navlačenja Belasičkog granita preko granit-porfirskog kompleksa, verovatno u jednoj od alpskih faza. Glavne odlike tektonskih poremećaja u ovom području jesu strukture nastale kao posledica kompresione tektonike. Poprečne dislokacije u ovom prostoru seku već gotove strukture i pripadale bi fazi ekstenzije koja je zamenila fazu kompresije. U ovim poprečnim dislokacijama došlo je do proboja riolita neznatnih razmera. Postoje međutim, mišljenja koja negiraju postojanje navlačenja.

Istočno od granične tektonske linije nalazi se geotektonska kategorija Srpsko-makedonske mase, koja je vrlo jednostavne građe. O starosti petrogenih kompleksa se ništa sigurnije ne precizira, ali postoje mišljenja da su graniti variscijske i alpske starosti, a eruptivi Vardarske zone su mlađi i pripadaju sinorogenom magmatizmu laramijske faze ili su kimerijske starosti.

Prema B. Sikošeku superpozicioni red petrogenog kompleksa Srpsko-makedonske mase izgledao bi ovako: graniti i granit-gnajsevi predstavljaju centralno batolitsko telo utisnuto u kristalasti omotač. Najdublji član kristalaste serije predstavljali bi amfibolski gnajsevi preko kojih leže sitnozrni biotitski gnajsevi, a preko njih škriljci para serije, koja je u ovom području sačuvana samo u zapadnom delu koji sada pripada tektonskoj jedinici Vardarske zone.

Zbog nedovoljne izučenosti postoje i druga mišljenja i tumačenja kako geološke istorije, postanka i vremena stvaranja pojedinih petrogenih kompleksa, tako i geneze mineralizacije urana i dr.

A. Antonović, V. Vujanović i S. Višić tvrde da granica između petrogenih kompleksa i pojedinih tipova nisu jasne, već da postoje između njih postupni prelazi, naročito unutar riolitskog kompleksa, te smatraju da je neopravdano povlačenje linije navlačenja duž kontakta svih formacija. Oni, međutim, »ne negiraju postojanje reversnih kretanja istog smera i duž istih i drugih ravni unutar pojedinih formacija«. Isto tako »pojedine granice predstavljaju rasede sa vertikalnom ravni ili dosta moćne rasedne zone, ali koje se pružaju najčešće duž granica izme-

du različitih stenskih masa«. »Kontakt serija filita i kalkšista s jedne strane i škriljavih riolita s druge vidljiv je u potoku Trkajna i predstavljen je jednom prostranom zonom jako polomljenih i alterisanih stena u vidu izrazite zone, u kojoj je nemoguće razlikovati jedne od drugih«. Oni, dalje dobijaju utisak »da je cela oblast riolitskih stena bila izložena tektonskim pokretima u jednom geološki dugom periodu, pri čemu su se smenjivali procesi metamorfizma i magmatizma sa svim pratećim manifestacijama«. Intenzivno uškriljavanje i feldspatizacija riolitskih stena ukazuje na dublji nivo metamorfizma bez obzira na njihovo poreklo.

Isti autori dalje smatraju da je »moguće da su razlomne disolkacije tipa Đupski poroj nastale ili da su bile aktivirane u toku veoma mladih tektonskih procesa. Ovi pokreti su svakako praćeni izvesnom magmatskom aktivnošću čiji su odraz termalne vode kod Banjskog i vidni tragovi hidrotermalne alteracije na celom južnom obodu Strumičkog polja«.

Najzad prema ovim autorima postoji mogućnost da su ortognajsevi u celini uzev granitizirane para stene (mikašisti, škriljci), i da je najveći deo ovog procesa obavljen pre pojave porfiroidnih granita«.

Prema S. Divljanu postoji sukcesija stena jedne iste intruzivne faze, najverovatnije sinorogene, koja bi prema B. Sikošeku trebalo da odgovara laramijskoj fazi (gornja kreda—tercijar). Primarne razlike u teksturi i strukturi bile su prouzrokovane različitom brzinom hlađenja i nekim drugim fizičko-hemijskim uslovima u toku hlađenja. Primarne razlike između pojedinih vrsta stena su docnije delom izbrisane ili još povećane usled intenzivnih hidrotermalnih i mehaničkih promena koje su ove stene pretrpele kako neposredno posle očvršćavanja, tako verovatno i docnije, u toku mlađe orogene faze. Stoga su granit-porfiri i stari rioliti obodna, brzo hlađena zona, granitskog masiva Belasice. Ali postoje u kontaktnoj zoni granita i granit-porfira indikacije kontaktnog metamorfizma koje ukazuju da su neki delovi riolita stariji od granita.

Prema S. Cvetiću razlike između ove dve vrste stena su posledica jake prekristalizacije stena iz »obodne zone«, pod uticajem granitske magme, koja je bila praćena i metasomatskim procesima. Ovi se procesi ogledaju u povećanju veličine sastojaka kako osnovne mase, tako i fenokristala, što se najlepše vidi pri udaljavanju od kontakta sa granitom. Najintenzivnija je kalijska i silicijska metamorfoza ali je dejstvom granita stvoren biotit, fluoroapatit, fluorit i granat. Stoga su stene obodne zone rioliti koji su prekristalisali pod uticajem granita, te je jedna obodna zona zasebna formacija a ne brže hlađeni obod granitskog masiva. Rioliti su dalje paleozojske starosti i stariji su od granita.

Sitnozrni i krupnozrni granit-porfiri i rioliti predstavljaju jednu istu stenu, koja je pod uticajem granita metasomatski izmenjena prinosom kvarca, feldspata i delom liskuna. Na taj način su rioliti znatnim delom pretvoreni u granit-porfire, koji se po pravilu ne stvaraju u vidu masiva. Kontakti između pojedinih stena nisu sistematski proučeni, a sami rioliti u mnogome podsećaju na migmatite, odnosno migmatiziranu tufitnu škriljavu formaciju.

V. Vujanović, S. Višić i M. Teofilović postavljaju pretpostavku o postojanju tri plutonske granitoidne faze, sa odgovarajućim subvulkanskim riolitskim i drugim pratiocima. Najstarija plutonska akcija manifestuje se gnajsificiranjem škriljaca i mikašista i stvaranjem

stena koje su neki autori nazvali ortognajsevima. Zatim je izvršena granitoidna intruzija masiva Belasice koja je izazvala feldspatizaciju manjeviše svih stena. Najmlađa faza se uglavnom manifestuje feldspatizacijom i metasomatozom granitoida Belasice, kao i okolnih stena uključujući i riolite, pri čemu ružičasti feldspati treba da su njeni glavni vesnici i uzročnici stvaranja »granitporfira« na račun riolita.

GEOLOŠKA IZUČAVANJA U 1970. GODINI

Geološka izučavanja izvršena u 1970. godini obuhvatila su izradu fotogeološke, struktrne i karte alteracija i terensku proveru fotogeološke karte, geofizička i geohemijska ispitivanja, a imala su za cilj rešenje nekoliko problema veoma važnih za određivanje perspektivnosti zapadnog dela područja planine Belasice i sužavanje prognoze na rudne pojave i rudna polja. Uglavnom je trebalo rešiti probleme: starosti i sukcesije magmatizma, stila tektonike, vremena poslednjeg metamorfizma i vremena stvaranja metamorfizma.

Fotogeološka karta izrađena je u razmeri 1:25.000 na površini od 150 km², od čega je 61 km² sa uškriljenim porfiroidnim stenama.

Prema rezultatima provere ove karte (M. C u k u ć a n) strukturno-geološkog oblikovanja ovog područja, najstarije stene su biotitski i amfibolski gnajsevi, koji se nalaze samo kao manje partije u SI obodnom delu granita kod sela Kolešino. Serija paleozojskih škriljaca koja se nalazi na zapadnom delu područja sastoji se od hloritošista, kalkšista, manjih partija mermera i filita. Ovu seriju probijaju gabrovi i dijabazi, a gornjem delu i manje mase riolita kod sela Vodoča, severno od Ormanlija, kod Kočuma i Organđalija. U ovu su se seriju nešto docnije, verovatno u hercinskoj orogenoj fazi utisli granit-porfiri i rioliti, koji predstavljaju postorogene facije variscijskog magmatizma.

Ceo ovaj kompleks bio je izložen snažnim potiscima sa SI u alpskoj orogenezi. Ovi potisci pored kompresionog efekta uškriljavanja, prouzrokovali su i navlačenje granita preko granit-porfira, ovih preko riolita, a njih preko stena paraserije, a u ekzokinetičkim uslovima i stvaranje niza reversnih raseda pravca SSZ—JJI. Kako su ovi pravci paralelni glavnim tektonskim poremećajima ovog područja i Vardarske zone, mogu se smatrati tektonskim linijama prvog reda. Pored sistema SSZ—JJI duž koga su izvršene najdinamičnije i materijalne promene u kartiranom području postoje sistemi poprečnih i dijagonalnih poremećaja sa orijentacijom SI—JZ, I—Z i S—J.

U ovim sistemima raseda nalaze se manje mase mikrogranita i relativno retke žice kvarca, kvarca i feldspata i riolita najverovatnije hercinske starosti od kojih su neki rasedi sa znatnim amplitudama kretanja, duž kojih je u pliocenu stvorena Strumička potolina. Osim toga, većina rupturnih sistema zajednička je kroz veoma dugi period vremena ali su u pojedinim fazama putem otvaranja, punjenja ili kretanja pojedini sistemi manje ili više naglašeni. Sve postojeće rupturne strukture mogu da se grupišu u tri sistema: uzdužni, poprečni i dijagonalni. Sistem uzdužnih tektonskih poremećaja paralelan je tektonskim poremećajima prvog reda, odnosno upravan je na pravac glavnog potiska i ima orijentaciju približno

SSZ—JJI. U fazama slabljenja potiska mnogi su poremećaji delimično otvoreni i ispunjeni kvarcom. Neki od njih su u traci porfiroidnih stena dostizali znatnu dubinu te je duž njih došlo do intenzivnih metasomatskih procesa u obliku faldspatizacije i biotitizacije. Delimično je duž njih došlo i do cirkulacije hidrotermalnih rastvora. Kompresiono poreklo ovih dislokacija, međutim, nepovoljno je za taloženje značajnih rudnih mineralizacija.

U uzdužnim poremećajima nalaze se mineralizacije sa sekundarnim mineralima urana u Ciganskom potoku i Kara Tašu, bakra u Ciganskom potoku i olova i cinka kod sela Organdžali.

Sistem poprečnih poremećaja upravan je na prethodni, odnosno paralelan je pravcu najintenzivnijeg potiska sa pružanjem SI—JZ, i tenzionog je porekla, ali se teško zapaža na mestu, obično kao sistem od 10—12 pukotina na dužni metar. Fotogeološki on može da dostigne dužinu i od nekoliko kilometara. Ovom sistemu pripadaju retke kvarcne žice, neki žični tipovi riolitskih breča na Kara Tašu, kao i brojne partije mikrogranita u granitskom masivu Belasice. Ove poremećaje nije mogao M. Cukućan da bliže prostorno i genetski definiše. U najmlađim fazama alpskog orogena, duž poprečnih sistema, pored još nekih došlo je do smicanja velikih stenskih blokova i do stvaranja Strumičke, odnosno Dojranske potoline.

Sistem dijagonalnih poremećaja pruža se pravcem S—J odnosno I—Z, ali one su bez deformacija sa horizontalnom komponentom kretanja većih blokova stena.

U rejonu Kara Taša urađena je strukturna geološka karta u razmeri 1:10.000 na površini od 13 km². Na ovoj se karti vidi da su kvarcne i kvarcno-feldspatske žice vrlo česte i skoro uvek su udružene sa biotitskim škriljcem. One su češće u granit-porfiru i obično imaju isto pružanje kao stena u kojoj se nalaze.

Sistem uzdužnih struktura kao i u ostalom delu zapadnog oboda planine Belasice paralelan je tektonskim poremećajima prvog reda, ima orijentaciju približno SSZ—JJI, a one su u više mahova obnavljane počev od hercinske orogeneze i znatnim delom i tokom alpske orogeneze. Duž kontakta pojedinih petrogenih vrsta izvršeno je reversno kretanje i kraljuštanje i navlačenje praćeno uškriljavanjem. U međufazama kompresioni uslovi zamenjeni su nekad ekstenzionim i tada su nastale relaksacije i otvaranje mnogih od ovih dislokacija. Ove su dislokacije bile duboke naročito u sitnozrnim granitima i riolitima te se duž njih izvršila metasomatoza i stvaranje biotitskih škriljaca ili kvarcnih žica.

Izučavanja alteracija obuhvatila su izradu karte u razmeri 1:10.000 iste površine kao i strukturno-geološka karta. U stnenama na ovoj površini izvršeni su sledeći tipovi alteracija: feldspatizacija, biotitizacija, muskovitizacija, hloritizacija, sericitizacija, piritizacija, kvarcizacija, hematitizacija, fluoritizacija, kaolinizacija i karbonatizacija. Izvanredno velike teškoće za utvrđivanje procesa alteracije pričinjavao je metamorfizam koji je izvršio znatne promene mineralnog sastava alterisanih stena. Stoga se kao sigurni indikatori alteracija oko orudnjenja mogu da smatraju samo kvarcizacija i piritizacija, a donekle i sericitizacija. Svi ostali tipovi alteracija uglavnom kao i sericitizacija mogu da budu prerudni, rudni i postrudni procesi (N. Mihajlović-Vlajić).

Feldspatizacija je veoma rasprostranjena i prema načinu pojavljivanja razlikuju se: a) regionalna feldspatizacija koja se sastoji u mikroklinizaciji granita i sitnozrnog granit-porfira, pri čemu su nastali porfiroidni graniti ili nagomilanja fenokristala kalijskog feldspata u sitnozrnom granit-porfiru; b) feldspatizacija koja se sastoji u albitizaciji granita, granit-porfira i riolita uz pertitizaciju kalijskih feldspata; c) feldspatizacija granita svežim mikroklinom koja sa kvarcom ispunjava šire ili uže pukotine u porfiroidnom granitu; i d) mikropertitska feldspatizacija granita mikroklinom.

Biotitizacija je prilično zastupljena u tektonskim poremećajima pravca SSZ—JJI, a sastoji se kako u biotitizaciji amfibola u amfibolitima i mikrodioritima iz filitične serije škriljaca, tako i u uklopcima ovih stena u sitnozrnim granit-porfirima i granitima.

Muskovitizacijom granita u neposrednom kontaktu sa žičnim stenama pravca SI—JZ (granit-porfiri, aplitoidni graniti i rioliti), stvoren je muskovit granit, pri čemu sadržaj muskovita dostiže i preko 9%.

Hloritizacija se manifestuje najčešće pojavom nagomilavanja sitnih ljuspica hlorita u osnovnoj masi stena u obliku plaža i traka ponekad udružena sa granularnim kvarcom. Ovaj tip hloritizacije najčešće je zastupljen na spoljnjim obodima intenzivno hidrotermalno izmenjenih stena.

Sericitizacija je metasomatski proces gotovo regionalnog rasprostranjenja jer se nalazi kako u granitima, tako i u granit-porfirima, riolitima i žičnim stenama sa orijentacijom SI—JZ. Najintenzivnija sericitizacija izvršena je u škriljavim partijama na kontaktu riolita sa serijom filitičnih škriljaca i sa sitnozrnim granit-porfirima. Takođe je intenzivna u užem oreolu alteracije mineralizacija gde se stvaraju nagomilanja liski sericita nekad udruženih sa granularnim kvarcom pri čemu dolazi nekad i do potpune seritizacije feldspata.

Kvarcizacija je široko rasprostranjena ali je najintenzivnija oko mineralizacija, a sastoji se u stvaranju izduženih sočiva granularnog kvarca često udruženog sa sericitom a ređe hloritom. Na mestima intenzivne kvarcizacije mestimično je izvršeno zamenjivanje feldspata kriptokristalastom silicijom.

Izvršene odredbe temperature stvaranja kvarcnih žica metodom dekrepitizacije (D. K l e u t, 1970) su nepouzdane zbog malog broja inkluzija, što ukazuje na naknadno zagrevanje i metamorfizam. Dobijene su vrednosti od 280—380°C, za kvarcne žice iz severnog dela područja.

Najintenzivnija fluoritizacija za sada je izvršena u brečiziranoj žici riolita sa orijentacijom SI—JZ na Kara Tašu. Fluorit ovde čini najveći deo teškog koncentrata. Pored ljubičastog fluorita ovde se nalaze i manje količine žućkastog fluorita.

Karbonatizacija se izvršila u prslinama i pukotinama stena koje uobičajeno presecaju pravac orijentacije kvarcnih i kvarcnosericitskih sočiva ili žilica u steni.

Kaolinizacija se nalazi uglavnom uz tektonske poremećaje i milonitske zone.

Limonitizacija je dosta široko rasprostranjena i to kako u pojedinim delovima hidrotermalno izmenjenih sitnozrnih granit-porfira, tako i u kvarcnim žicama.

Geofizička ispitivanja su obuhvatila pored regionalnog magnetskog ispitivanja, detaljnu gama radiometriju i električno kartiranje. Zadatak je ovih ispitivanja bilo otkrivanje kako tektonskih poremećaja prvog i nižeg reda, tako i otkrivanje anomalija radioaktivnosti (A. Pavlović, 1970).

Rezultati magnetskih ispitivanja daju opštu sliku o konfiguraciji anomalnog magnetnog polja, odnosno promene vertikalne komponente zemljinog magnetskog polja (T. Jančić, 1970).

Od poprečnih dislokacija najizrazitija je rasedna zona koja se prostire približno dolinom reke Trkajne zapadno od sela Kukliša. Nju obeležava polje negativnih vrednosti koje dovodi do diskontinuiteta zone pozitivnih vrednosti na području Strumica — Nikolić. Druga zona razloma nalazi se južno od linije Svidovica — Ajdutaš — Kosturino, povija severoistočno od sela Dorlobos, što je posledica sistema raseda čije je postojanje delom utvrđeno geološkim kartiranjem, a delom različitim stepenom zastupljenosti bazita (metamorfisani gabro i dijabaz) u dubinskom razlomu. Osim toga indiciran je sistem raseda između sela Bajrambosa i Organdžali, kao i sistem raseda kod sela Nikolić i brda Popovnjak pružanja SSI—JJZ.

Detaljna geofizička ispitivanja bila su skoncentrisana na širem području Kara Taša, a sastojala su se od gama radiometrijskog ispitivanja površine od 13 km², koja je zahvatala granit-porfire i škriljave riolite između granita na severoistoku i filita na jugozapadu, odnosno deo rejona koji po svojim strukturno-geološkim i drugim odlikama predstavlja perspektivno područje za nalaženje novih koncentracija radioaktivnih elemenata.

U istraživanom rejonu pored poznatih anomalija radioaktivnosti Kara Taš, Bajrambos, Popovnjak registrovane su još i nove anomalije gama radioaktivnosti u širem rejonu Kara Taša, zatim anomalijska mesta u Arap ereka i najzad u blizini Džoldžika. Zajedničke odlike svih novootkrivenih anomalijskih površina su prostorna ograničenost pojavljivanja (dužina po pružanju iznosi najviše 200—300 m), relativno nizak koeficijent anomalnosti, izuzimajući delove sa sekundarnim mineralima urana, kada se ovaj koeficijent naglo povećava (Džoldžik), ali nije bilo moguće utvrditi zakonitost anomalijskog gama polja, u smislu pripadanja nekom određenom strukturno-geološkom elementu.

Regionalna električna kartiranja na dva nivoa izvođena su duž trasa 5 profila na vulkanskim stenama između Nikolića na jugoistoku i Strumice na severozapadu. Lociranje profila izvršeno je prema geološko-strukturnim odnosima i orografiji, tako da su oni upravni na glavne dislokacije i da presecaju paraseriju, vulkanite i granite.

Dobijeni rezultati geoelektričnog kartiranja, koji variraju u širokom dijapazonu od ispod 100 do preko 2.000 om/metara, nedvosmisleno pokazuju da i na dubini istraživanja 45—90 m od površine, postoje isti relativno komplikovani strukturni odnosi, kao što je već bilo utvrđeno na površini.

Geohemijska ispitivanja sastojala su se od poludetaljnih i detaljnih ispitivanja, koja su obuhvatila oprobavanje stena i određivanje u njima sadržaja urana fluorometrijskom metodom i sadržaja olova, cinka i bakra kolorimetrijskom metodom u lokalnostima Arap ereka, Bajrambos, Karaula Janković, Trkajna i Ciganski potok (V. Ćirić, 1970).

Cilj je ovih ispitivanja bilo okonturivanje delova rejona perspektivnih za nalazak orudnjenja urana i određivanje elemenata pratioca urana. Zbog malog broja proba nije moguće na osnovu izvršenih ispitivanja odrediti perspektivne delove rejona. Što se tiče pratilaca urana utvrđeno je da je olovo karakterističan pratilac urana, dok su cink i bakar samo mestimično zastupljeni zajedno sa uranom sa povećanim sadržajima, odnosno da su oni staloženi ranije i odvojeno od urana u izluživanim stenama.

U koliko i olovo nije ranije staloženo, njegovi povećani sadržaji u odnosu na uran ukazuju na mogućnost postojanja, u dubljim delovima ispod anomalnih sadržaja urana, koncentracija ovog elementa.

Mikro elementi. — Najveći srednji sadržaji Ti, Mn, Pb, Cu i Ba i najmanji srednji sadržaj Y i Zr imaju rioliti. Najmanji srednji sadržaj Mn i Ba, a najveći srednji sadržaj Ni i Cr imaju sitnozrni granit-porfiri. Najviši srednji sadržaj Y i Zr imaju krupnozrni granit-porfiri. Osim toga krupnozrni granit-porfiri i rioliti imaju veći srednji sadržaj urana, isti odnos Th/U i veći srednji sadržaj kalijuma u odnosu na granit i sitnozrni granit-porfir. Ove poslednje stene, međutim, imaju sličan srednji sadržaj urana, odnos Th/U i srednji sadržaj kalijuma, a takođe i veći raspon sadržaja torijuma.

Akcesorni minerali. — U ispitivanim stenama nalazi se 24 akcesornih minerala, od kojih je najviše zastupljen magnetit a najmanje apatit (N. Mihajlović-Vlajić, 1970). Riolit se izdvaja sadržajem ilmenita i ilmeno-rutila, porfiroidni granit i riolit povećanim sadržajem alanita, a krupnozrni granit-porfiri povećanim sadržajem cirkona. Flourit se nalazi sporadično u porfiroidnom granitu, sitnozrnom granit-porfiru i riolitskim žicama.

Zbog malog broja ispitanih stena, variranja zastupljenosti u njima sadržaja akcesornih minerala, a u njima sadržaja mikroelemenata, nije moguće na osnovu njihove raspodele odrediti, ne samo metalogenetsku specijalizaciju, nego ni njihovu komagmatičnost, na čije postojanje ukazuju bliski hemijski sastavi hidrotermalno nealterisanih stena.

Sadržaj mikroelemenata u monomineralnim koncentratima metasomatskih minerala mogao bi da se eventualno upotrebi kao indikator produktivnog orudnjenja, tek kada se ono bude otkrilo.

Geohronološka određivanja starosti (A. Lovrić, 1970) su, zbog malog broja određivanja i metamorfizma stena, dala samo orijentacione rezultate. Tako je određena Sr izohrona starost riolita od 112 mil. godina, što odgovara aptskom katu, i gnajseva od 136 mil. godina, što odgovara prelazu jura — kreda. Izohrona starost granit-porfira nije određena zbog smanjenog sadržaja radiogene komponente Sr. Starost granita bila je još ranije određena i iznosila je 120 i 124 ±5 mil. godina (G. Deleon, 1968).

Starost biotita iz dvoliskunskog gnajsa određena je iz odnosa Rb/Sr i iznosila je 111, 121 i 123 mil. godina a muskovita 198, 151 i 124 mil. godina.

Raskopi su izrađeni na anomalijama radioaktivnosti, radi dobijanja orijentacionih podataka o sadržaju urana u reci Trkajni, Lipskom poroju, Bizavoj ritki i Đupskom poroju.

Povećana radioaktivnost u uškriljenim, kataklaziranim, silifikovanim i limonitisanim riolitima vezana je u reci Trkajni za limonitisane puko-

tine; u uškriljenim i sericitisanim krupnozrnim granit-porfirima Lipskog poroja za sočiva nepravilnog oblika gipsa i kvarca; u jače sericitisanim, kvarcisanim, limonitisanim i slabo hematitisanim krupnozrnim i sitnozrnim granit-porfirima u Ciganskom potoku za kvarcisane delove raseda sa sekundarnim mineralima bakra; u kaolinisanom i limonitisanom sitnozrnom granit-porfiru Bizave ritke za limonitisane kvarcne žice; u uškriljenom granit-porfiru i uškriljenom riolitu Arap ereke i Kara Taša za pukotine, milonitske partije ili limonitizaciju, mestimično sa sekundarnim mineralima urana — autunitom, torbernitom i fosteritom. U svim raskopima sporadično se nalaze povećani sadržaji bakra, cinka i olova.

METALOGENETSKA IZUČAVANJA

Procena uranonosnosti petrogenih kompleksa planine Belasice, kao i 1969. godine, izvršena je prognoza, odnosno predviđanje mogućnosti nalaska produktivnih koncentracija minerala urana na osnovu uopštavanja rezultata do sada izvršenih istraživanja i na osnovu geološko-prospekciono-istražnih kriterijuma za otkrivanje ležišta urana, kao i na osnovu teoretskih postavki o postanku ležišta urana, njihovoj genetskoj vezi sa nekim određenim petrogenim kompleksom itd.

Pri određivanju prognoze korišćena je obilno metalogenetska analiza podataka o geološkoj građi područja planine Belasice i njegovom položaju u geološko-strukturnoj građi teritorije SFRJ, o rezultatima izvršenih izučavanja — prospekciji, i istraživanju i o analogiji sa sličnim područjima u svetu sa ležištima urana, ali sa znatno većim stepenom istraženosti.

Uopštavanje geoloških podataka. — Sinteza rezultata izvršenih izučavanja u 1970. godini pokazala je da, i ako je rešen izvestan broj problema od važnosti za prognozu ostali su nerešeni neki problemi od posebne važnosti, tako da je na sadašnjem nivou istraženosti ovog područja, moguće pored određivanja metodologije narednih istraživanja, suziti prognozu na rudne rejone i rudna polja, s tim da se posle manjeg obima dopunskih istraživanja mogu odrediti lokalnosti i mesta izvođenja detaljnih istražnih radova, kao veoma perspektivnih za nalazak ležišta urana, odnosno utvrditi da tu ne postoji verovatnoća postojanja koncentracija minerala urana. Stoga su radi izrade prognozne karte izvršena sledeća uopštavanja:

1) Rejon eruptivnog petrogrenog kompleksa planine Belasice stvoren je na prostoru starog lineamenta, koji je uglavnom zadržao svoj položaj bar za vreme hercinske i alpske orogeneze. Stoga je u ovom prostoru ispoljen stil tektonike koji odgovara lineamentu.

2) Magmatizam je najverovatnije hercinski, postorogeni ili delom završno orogeni vulkansko-plutogeni, intruzivno-efuzivni. Granit bi verovatno pripadao tipu malih postorogenih ili završno-orogenih intruzija asturijske orogene faze, a rioliti i granit-porfiri efuzivima i ekstruzivima savske faze iz završne etape razvoja.

3) Vezivanje stvaranja riolitskih žica u tektonskim poremećajima trećega reda na Kara Tašu za alpsku orogenezu (M. Cukućan, S. Cvetić, 1970) je malo verovatno, ako su ostale facije eruptivnog petrogenog kompleksa hercinske starosti, a ove su žice neznatnih razmera (dužine

nekoliko metara), jer bi manifestacije vulkanizma na lineamentu bile znatno veće, kao što su u Kratovsko-zletovskoj oblasti. Najverovatnije je da one pripadaju najmlađoj fazi sukcesije jedinstvenog magmatskog ciklusa, uključujući granite, granit-porfire i riolite, našta ukazuje njihova pripadnost alkalnom kalijskom granitskom magmatskom tipu (CIPW), odnosno, alkalnoj granitskoj sličnoj magmi bogatoj alkalijama a siromašnoj Ca i Mg (N i g l i).

4) Stene metamorfne paraserije sa bazičnim eruptivima pripadaju donjoj strukturnoj etaži Vardarske zone. One su, međutim, pre nego što su bile zahvaćene alpskom tektonikom, pripadale gornjoj strukturnoj etaži Srpsko-makedonske mase, na čijem su se zapadnom obodu nalazile. U ovom delu Vardarske zone osim njih nema tercijarnih sedimentnih petrogenih kompleksa niti produkata magmatizma.

5) Prema starosnim odredbama metamorfizam eruptivnog kompleksa planine Belasice je završen u mlađoj kimerijskoj ili austrijskoj fazi alpske orogeneze. Pri tome su piroklastične facije bile pretvorene u metamorfne trakaste stene riolitskog sastava.

Postojanje piroklastičnih facija, koje ukazuju na bogatstvo magme u ognjištu isparljivim sastojcima koji su inače koncentratori urana i drugih metala, znatno povećava perspektivnost područja za nalazak ležišta urana, ukoliko su postojali i drugi povoljni geološki uslovi neophodni za njihovo stvaranje.

6) Nesumnjivo postojanje kraljuštanja i navlačenja neobično otežava prognozu i znatno smanjuje perspektivnost područja, jer smanjuje perspektivne površine, pored toga što anulira mnoge zaključke A. A n t o n o v i ć a, V. V u j a n o v i ć a, S. V i š i ć a, M. T e o f i l o v i ć a i S. C v e t i ć a, zasnovane na nekretanim kontaktima između facija stena eruptivnog petrogenog kompleksa. Zbog navlačenja su primarni kontakti između raznih facija stena nedostupni neposrednom promatranju, što pored obnavljanja metamorfizma i alteracija, gotovo onemogućava utvrđivanje erozionog nivoa.

7) Za sada nije moguće razlikovati prerudne, rudne i postrudne tektonske poremećaje, ali je nesumnjivo da su hercinski tektonski poremećaji obnavljani u toku alpske orogeneze. Na osnovu starosnih odredbi stena eruptivnog petrogenog kompleksa, u fazama posle kimerijske, izvršeno je navlačenje granitoida na granit-porfire, ovih na riolite, a njih na stene paraserije kristalastih škriljaca. Prema tome, navlačenje je znatno mlađe od taloženja mineralizacija urana i bakra. Tektonski poremećaji hercinske starosti prvog i nižeg reda najverovatnije su imali isti pravac kao i tektonski poremećaji odgovarajućih redova alpske starosti.

8) Postoje uglavnom tri sistema tektonskih poremećaja i to: uzdužni, poprečni i dijagonalni. Uzdužni sistem poremećaja ima pravac SZ—JI i SSZ—JJI, paralelan je glavnim tektonskim poremećajima Vardarske zone, te se može smatrati tektonskim strukturama prvog reda. Ovaj sistem raseda nije povoljan za stvaranje orudnjenja urana jer je kompresivnog porekla.

Sistem poprečnih poremećaja ima pružanja SI—JZ i tenzionog je porekla i ispunjen je retkim kvarcnim žicama, mikrogranitom i najmlađim riolitom.

Sistem dijagonalnih poremećaja pruža se pravcem S—J, odnosno I—Z. Najmnogobrojniji ovakvi poremećaji su u rejonu Kara Taša, gde je njihovo obnavljanje izvršeno u najmlađim fazama alpske orogeneze. Vertikalna kretanja su znatna i mogu da iznesu nekoliko stotina metara.

9) U području planine Belasice nalaze se kiseli intruzivi i efuzivi koji se lako drobe i u kojima se stvaraju otvoreni prostori povoljni za cirkulaciju rastvora, a u Strumičkom polju i klastični i glineni sedimenti sa organskom materijom, koji su povoljna sredina za taloženje mineralizacije urana.

10) Na površini područja Belasice postoji veliki broj anomalija radioaktivnosti i produkti oksidacije mineralizacija urana i sulfida (Fe, Cu, Pb, Bi i Ag).

11) Stvaranje orudnjenja izvršeno je najverovatnije u završnoj hercinskoj etapi razvoja, ali su produkti alteracije okolnih stena, koje je izazvano proticanjem hidrotermalnih rastvora, metamorfisanim u alpskoj orogenezi. Stoga kaolinizacija i argilizacija u nekim obnovljenim tektonskim poremećajima nemaju veze sa procesima orudnjavanja i descedentnog su porekla, pa se u njima ne mogu da nalaze produktivna orudnjenja urana. Odsustvo koncetracija Cu, Pb i Zn takođe ukazuje na stvaranje eruptivnog petrogenog kompleksa u završnim etapama razvoja područja, jer je za stvaranje koncetracija urana potrebno znatno duže vreme nego za Cu i Pb—Zn, zbog malog sadržaja urana u magmi. Na to ukazuje i odsustvo mineralizacije urana u eruptivnom kompleksu Radanskog masiva, koji ima isti regionalni položaj u lineamentu.

12) Produktivno orudnjenje urana nije moglo da se stvori u vreme alpske orogeneze, jer starosne analize ukazuju na mladokimerijsku starost metamorfizma, tako da praktično nema indikacija za eruptivnu delatnost u vreme alpske orogeneze. Osim toga ukoliko bi rioliti i ostali eruptivni petrogeni kompleksi planine Belasice bili alpske starosti, one bi pripadale srednjoj etapi razvoja, u vreme kada praktično u svetu nema većih koncentracija minerala urana.

13) Mineralni sastav mineralizacija ukazuje na višestruku hidrotermalnu i rudonosnu aktivnost a nedostatak zajedničkih hidrotermalnih parageneza sulfidne i uranske mineralizacije ukazuje na verovatno vremenski odvojeno stvaranje. Stoga se u današnjem erozionom nivou nalaze zajedno tvorevine nisko i visoko temperaturne hidrotermalne i metasomatske mineralizacije.

14) Odsustvo kontinuiranih mineralizacija urana duž alpskih tektonskih poremećaja ukazuje na verovatnu hercinsku starost uranske i sulfidne mineralizacije.

Stepen istraženosti petrogenih kompleksa ima značaja za metalogenetsku analizu i procenu uranonosnosti područja. Posle izvršenih izučavanja u 1970. godini od mnogih nerešenih problema ostalo je samo nekoliko, od kojih su najvažniji sledeći: međusobni odnos pojedinih facija eruptivnog petrogenog kompleksa, starost i prostiranje metasomatski i hidrotermalno promenjenih stena, starost svih vrsta stena, starost orudnjenja urana i njegovo prostiranje u dubinu.

Sa mnogo većom sigurnošću može se sada tvrditi da na površini područja nema izdanaka produktivnog orudnjenja urana i drugih metala.

Stepen geološko-strukturne, litološko-facijalne, prospekcione, minerogenetske i geohemijske izučenosti i istraženosti detaljnim rudarskim radovima i istražnim bušenjem je dovoljan da se može suziti rudna prognoza na rudne rejone i rudna polja, ali nije dovoljan da se odrede mesta mogućeg nalaska ležišta urana i izradi plan istražnih radova. To se naročito odnosi na neizučenost endogenih oreola rasejavanja urana i produkata alteracija stena.

Usvojene pretpostavke. — Radi izvođenja metalogenetske analize bilo je potrebno da se izvrši i usvajanje sledećih pretpostavki o nedovoljno izučenim geološkim odlikama područja planine Belasice.

1) Područje planine Belasice pripada istočnom obodnom delu Vardarske zone (granit-porfirski i riolitski kompleks) u alpskoj orogenezi, ali je u hercinskoj orogenezi pripadao zapadnom obodu Srpsko-makedonske mase. U obe ove orogeneze ovaj je prostor u kome se nalaze mineralizacije urana i drugih metala pripadao prostoru lineamenta u kome se sučeljavaju središni masiv sa hercinskim i alpskim nabranim pojasom Vardarske zone.

2) Po svome geološkom položaju u geološko-strukturnoj građi SFRJ ovaj obodni deo je veoma perspektivan za postojanje skrivenih orudnjenja urana postalih u završnoj etapi razvoja hercinske orogeneze. Ova se perspektivnost znatno smanjuje zbog postojanja navlačenja.

3) Rezultati izvršenih izučavanja ukazuju da na površini nema izdanaka produktivnih orudnjenja, ali otkrivene mineralizacije urana predstavljaju sekundarne mineralizacije urana postale u oksidacionoj zoni. Na to ukazuju i rezultati istražnih rudarskih radova i dubokog bušenja koji su delimično izvođeni i u cementacionoj zoni mineralizacija urana.

4) Grupisanje mineralizacija urana i anomalija radioaktivnosti oko Strumice, Bajrambosa i Kara Taša na planini Belasici, kao i oko Podareša na planini Plačkovici ukazuje na moguće postojanje paleovulkanskih centara i zonalnosti orudnjenja oko njih ili na postojanje povoljnih tektonskih poremećaja za taloženje mineralizacija urana.

5) Postojanje endogenih oreola rasejavanja urana i produkata alteracija stena oko njih, sada metamorfisanih i indiciranih povećanim sadržajima alkalija i silicije, ukazuje na verovatnoću postojanja primarnih orudnjenja urana.

6) Pretpostavlja se da se primenom sistematskog izučavanja primarnih oreola rasejavanja rudnih elemenata i zonalnosti alteracije oko njih mogu otkriti mesta postojanja skrivenih orudnjenja urana.

Metalogenetska analiza je naučna razrada osnova za istraživanje ležišta urana, to je za glavni cilj njen uzeto utvrđivanje zakonitosti metalogeneze područja planine Belasice. Stoga je najpre izvršeno geološko rejoniranje područja, zatim su sve mineralizacije razvrstane u endogene i ekzogene genetske tipove prema njihovom načinu postanka, mineralnom sastavu, starosti i strukturi. Najzad je izvršena procena perspektivnosti uzimajući u obzir rezultate izvršenih izučavanja, usvojene pretpostavke i geološko-prospekciono-istražne kriterijume.

Mineralizacije urana koje su do sada otkrivene na planini Belasici su ili ostaci endogenih hidrotermalnih srednje i nisko temperaturnih mineralizacija urana i sulfida Fe, Cu, Pb, Mo, Ag i Bi ili infiltracione minera-

lizacije. Zbog vrlo intenzivnih tektonskih poremećaja alpske starosti koji su zahvatili jedan deo uranskih i sulfidnih mineralizacija, nije moguće rekonstruisati njihov primaran način zaleganja.

Mineralizacija urana i sulfida na Bizavoj ritki i Đupskom poroju postale su iz mezotermalnih i epitermalnih hidrotermalnih rastvora koji vode poreklo iz magmatskog ognjišta koje je dalo i stene u kojima se one nalaze (granit-porfir i riolit) krajem srednje ili u završnoj etapi razvoja hercinske mobilne zone. Pravac pružanja i oblik ovih primarnih orudnjenja urana nije utvrđen, ali se pretpostavlja da je bio SI—JZ, jer je to bio pravac tenzionih tektonskih poremećaja koji su se perasto odvajali od glavnih tektonskih poremećaja prvog reda — dubokih raseda. Za vreme alpskih tektonskih pokreta izvršeno je kraljuštanje i navlačenje petrogenih kompleksa Srpsko-makedonske mase i drobljenje i milonitisanje granit-porfira i riolita, koje je zahvatilo i kvarcne žice sa sulfidima i orudnjenja sa mineralizacijom urana. U površinskom delu takvih partija počelo je zajedno sa nastajanjem oksidacionih procesa ispiranje urana i njegovo pretaložavanje u obliku sekundarnih minerala urana autunita i metatorbernita u oksidacionoj zoni i praškaste pehblende — uranske čađi u cementacionoj zoni.

Mineralizacije urana u glinenim žicama i sočivima, koje se nalaze u lokalnostima Đupski poroj, Široki dol, Ormanlijeva spila, Dolga ritka, Kaluđerski potok i Lipski poroj, postale su iz descedentnih rastvora za vreme stvaranja žica, jer sadržaj urana u njima odgovara apsorcionom kapacitetu glina, a stvarane su u vreme kad nije bilo hidrotermalnih rastvora. Uran je verovatno ispran iz endogenih oreola rasejavanja ili mineralizacija urana. Mineralizacije urana vezane za gnezda i sočiva autunita na lokalnosti Kara Taš, postale su oksidacijom na mestu primarnih hidrotermalnih mineralizacija urana, sličnog načina postanka kao mineralizacije u Đupskom poroju i Bizavoj ritki. Najzad mnogobrojne mineralizacije urana koje su vezane za prevlake i kore limonita u lokalnostima Đupski poroj, Bizava ritka, Kukliš, Bajrambos i Svidovica, postale su iz infiltracionih descedentnih rastvora ispiranjem urana iz endogenih oreola rasejavanja urana i iz jako kataklaziranih stena u kojima se nalze. Limonitska a negde i hematitska materija poslužila je kao apsorbent i koncentrator urana.

Izvršenom metalogenetskom analizom utvrđeno je, da je zapadni deo planine Belasice koji se nalazi u prostoru lineamenta, odnosno u prostoru sučeljavanja središnjeg masiva Srpsko-makedonske mase sa hercinskim i alpskim nabranim pojasom, veoma perspektivan u regionalnim razmerama za postojanje ležišta urana, fluorita i zlata. Ovaj je prostor osim toga ispresecan sistemom raseda koji kontrolišu rasprostranjenje eruptivnih stena završne etape razvoja mobilne zone hercinske starosti, što mu takođe povećava perspektivnost. Najzad ovaj je prostor bio zahvaćen veoma intenzivnom magmatskom aktivnošću, te predstavlja zonu u kojoj se mogu nalaziti ostaci paleovulkanskih centara — nekovi. Perspektivnost se ovog područja znatno smanjuje postojanjem kraljuštanja i navlačenja, jer skoro onemogućava prognozu petrogenih kompleksa ispod površine.

Prognoza. — Endogena ležišta urana i drugih metala nalaze se u svetu obično u eruptivnim petrogenim kompleksima sa sistemima dubokih raseda, u kojima su se kretanja vršila u toku dugog vremena. Rudna se ležišta nalaze u manjim disjunktivnim tektonskim poremećajima, koji su pa-

ralelni ili seku rasede sa kojima su bili spojeni. Ovi rasedi regionalnog značaja obnavljani su više puta i često su poslužili kao putevi izlivanja efuziva i utiskivanja masiva malih intruzija i dajkova kiselih i subvulkanskih stena, kao i mlađih diferencijata magmatskog ognjišta. Osim toga, za stvaranje ležišta značajan je i sastav stena u kojima se stvaraju orudnjenja, fizička svojstva tih stena i sadržaj u njima materija koje mogu da talože metale, zatim lokalne tektonske strukture, dubina orudnjenja, mineraloško-geohemijski uslovi koji su vladali za vreme njihovog stvaranja i dr.

U regionalno perspektivnom delu područja planine Belasice — prostor rasprostranjenja granit-porfira i riolita, produktivna ležišta mogu da se nalaze u tektonskim poremećajima hercinske starosti povoljnim za taloženje mineralizacije urana, koji imaju znatnije prostiranje i perasto se odvajaju, vertikalno ili horizontalno, od regionalnih tektonskih poremećaja prvog reda, dubokih raseda prealpske starosti, ali samo u delovima koji nisu zahvaćeni obnavljanjem u alpskoj orogenezi, jer su oni mogli da razore postojeća orudnjenja urana. Osim toga, ležišta urana mogu da se nalaze i u tektoniziranim paleovulkanskim centrima sa vidljivim proizvodima hidrotermalne alteracije — kvarcisanjem, kvarcnim punjenjem pukotina i prslina, sericitizacijom, hloritizacijom, piritizacijom i hematitizacijom.

Izvesnu perspektivnost ima i rejon tercijarnog basena Strumice, u čijim se klastičnim sedimentima mogu da nalaze uslojena orudnjenja urana infiltracionog tipa, jer postoji izvor urana i povoljna sredina za njegovo taloženje predstavljena klastičnim petrogenim kompleksom sa glinama i organskom materijom u kojima su mogli da postoje redukcione barijere, na kojima se inače taloži mineralizacija urana iz infiltracionih voda obogaćenih uranom ispranim iz tektoniziranih eruptivnih stena sa povećanim sadržajima urana ili iz mineralizacije i primarnih oreola rasejavanja urana. Ovaj se tektonski rov prostire pravcem I—Z, širok je 10 km, a dubok 500—600 m. Zbog neznatne izučenosti nije poznato ne samo postojanje mineralizacija urana u njemu, nego ni mogućnost postojanja reciklacije urana.

Na osnovu izvršene prognoze izdvojeni su u eruptivnom petrogenom kompleksu planine Belasice kao perspektivnom za nalazak ležišta urana sledeći rejoni i rudna polja: Kukliš — Tri vode — Strumica, Kukliš — Ajdu Taš, Svidovica — Bela skala, Dorlobos — Činarli, Paspataj — Karani, Bajrambos, Kara Taš, Popovnjak — Zarzeltaš, Bedna poljana, Adladžik — Alta Azla, Karakaš i Eskajr. Cela površina ovih rejona i polja nije perspektivna za nalazak produktivnih orudnjenja urana, već samo oni delovi u njima u kojima se nalaze primarni oreoli rasejavanja urana i hidrotermalno alterisane stene, koje su u alpskoj orogenezi metamorfisane, ali koje nisu zahvatili alpski tektonski poremećaji.

Veoma je ograničena perspektivnost za nalazak ekzogenih ležišta urana u rejonu tercijarnog basena Strumice, zbog male verovatnoće za reciklaciju urana i postojanja drugih geoloških uslova povoljnih za taloženje mineralizacija urana. Ukupna perspektivna površina iznosi oko 30 km² i prostire se od linije Strumica — Suševo na istok do granice sa Bugarskom.

Pri izradi prognozne metalogenetske karte (prilog 1) eruptivnog kompleksa planine Belasice pretposavilo se da površine sa povećanom radio-

aktivnošću stena i povećanim sadržajem urana unutar kojih se nalaze i mineralizacije urana i sulfida, predstavljaju endogene oreole rasejavanja urana i drugih metala, koji su indikatori orudnjenja koja se nalaze dublje ispod površine, u nekadašnjim putevima kretanja rudonosnih rastvora. Razmeštaj ovih orudnjenja određen je pre svega hemijskim sastavom rastvora, propustljivošću stena, osobinama sredine i deformacijama karakterističnim za vrstu stene. Mada svi ovi uslovi mogu da se predvide, pri izradi ove karte za područje perspektivnih eruptivnih petrogenih kompleksa planine Belasice, bilo je moguće ograničiti samo perspektivne rejone i polja, jer za predviđanje mogućih mesta nalaska skrivenih orudnjenja nema potrebnih podataka, koji se uglavnom odnose na izučenost oreola rasejavanja, hidrotermalne alteracije stena i rezultata strukturnog bušenja.

Na prognoznu kartu naneti su podaci radiometrijske, geohemijske, i šlihovske prospekcije, zatim genetski tipovi otkrivenih mineralizacija urana i sulfida, njihove glavne korisne komponente, razmere i perspektivnost područja i najzad perspektivnost mineralizacija sa sledećim grupama: 1) male neperspektivne mineralizacije i 2) slabo izučene i nejasne perspektivnosti. Za prikaz istraženosti i perspektivnosti površine područja odabrane su sledeće grupe: 1) detaljno prospektovane površine svim racionalnim metodama neperspektivne, 2) nepotpuno prospektovane površine, ali prema geološkoj građi dovoljno, 3) nepotpuno prospektovane površine na kojima se predviđaju dopunska istraživanja, 4) nedovoljno prospektovane površine ali neperspektivne geološke građe.

Iz prognozne se karte vidi da je od ukupne površine od 65 km² ograničena površina od oko 25 km² na kojoj treba najpre izvršiti dopunska istraživanja, da bi se odredila moguća mesta nalaska produktivnih orudnjenja.

ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata istraživanja izvršenih 1970. godine mogu da se donesu sledeći zaključci:

1. Deo područja planine Belasice izgrađen od petrogenog kompleksa granitoidnih stena, najverovatnije hercinske starosti, perspektivan je u regionalnim razmerama za nalazak ležišta urana.

2. Granitoidne stene su diferencijati magme jednog magmatskog ognjišta i poslednji su put metamorfisane u alpskoj orogenoj fazi, posle čega je izvršeno i navlačenje granita na granit-porfire, ovih na riolite, a njih na kristalaste škriljce paraserije.

3. Ovaj petrogeni kompleks zahvatili su u više mahova tektonski pokreti, rezultat čega su, pored navlačenja i kraljuštanja, stvaranje mnogobrojnih tektonskih poremećaja uglavnom grupisanih u tri sistema: uzdužni kompresioni prvog reda i pravca SZ—JI, poprečni tenzioni pravca SI—JZ i dijagonalni pravca I—Z i S—J.

4. U granitskom petrogenom kompleksu postoje dve vrste alteracija, starija hercinska metamorfisana je u alpskoj orogenezi i mlađa alpska descedentna. Ova je poslednja zahvatila i mineralizacije urana i pogrešno je smatrana kao hidrotermalna.

5. Mineralizacije urana su najverovatnije stvorene u hercinskoj orogenezi, u završnim fazama magmatske aktivnosti iz hidrotermalnih rastvora. Produktivna orudnjenja mogu se nalaziti ispod primarnih oreola rasejavanja urana oko mesta spajanja tektonskih poremećaja nižeg reda sa poremećajima višeg reda.

6. Najpovoljniji tektonski poremećaji za stvaranje orudnjenja urana su tenzioni pravca SI—JZ, odnosno mesta njihovog spajanja sa tektonskim poremećajima prvog reda.

7. Metalogenetskom analizom određeni su sledeći rejoni i polja perspektivna za nalazak mineralizacija urana, jer se u njima verovatno nalaze primarni oreoli rasejavanja urana: Kukliš — Tri vode — Strumica, Kukliš — Ajdu Taš, Dorlobos — Činarli, Paspataj — Karani, Kara Taš, Bajrambos, Popovnjak — Zerzeltaš, Adladžik — Alta Azla, Karakaš i Eskajr.

8. Veoma je ograničena perspektivnost za nalazak ekzogenih orudnjenja urana u rejonu tercijarnog basena Strumice, zbog neizvesne mogućnosti postojanja reciklacije urana i povoljnih uslova za taloženje urana.

9. Naredna istraživanja u perspektivnom području granitoidnih stena treba usmeriti na utvrđivanje mogućnosti postojanja skrivenih orudnjenja urana, odnosno na izbor mesta za istražne rudarske radove i duboka bušenja. Za otkrivanje ovih ležišta izvršila bi se istraživanja perspektivnih rejona i polja metodologijom za otkrivanje skrivenih ležišta urana.

(Predato za štampu januara 1974. g.).

LITERATURA

1. Antonović A., Vujanović V., Višić S., 1969 — Analiza rezultata dosadašnjih istraživanja i proučavanja perspektivnosti područja Karataš, Strumica i Podareš. Fond stručne dokumentacije Instituta, br. 1438.
2. Vujanović V., Višić S., Teofilović M., 1969 — Belasica — geološko-petrološke karakteristike i pojave orudnjenja urana sa osvrtom na njihovu genezu. Radovi Inst. za geol.-rud. istr. i ispit. nukl. i dr. miner. sirovina, God. IV, sv. 5, Beograd.
3. Vulović D., Pavlović A., Isailović S., 1959 — Istraživanje urana planine Belasice. Izveštaj, Fond str. dok. Instituta.
4. Vukašinović S., 1963 — Anomalno magnetno polje Makedonije i njegova veza sa geološkom građom terena. Trudovi na Geološkit zav. na SR Makedonija, sv. 10. Skopje.
5. Vukašinović S., Sikošek B., 1966 — Prilog poznavanju geološke građe Vardarske zone na bazi rezultata aeromagnetnih ispitivanja. Referat na VI Savet. geol. Jugoslavije, Ohrid.
6. Vukšić N., 1956 — Izveštaj o radiometrijskoj prospekciji terena Belasice. Fond str. dokum. Instituta, Beograd.
7. Jakovljević M., Mihailović N., Sikošek B., 1956 — O geološkom kartiranju terena Belasice. Fond stručnih dokumenata Inst. Beograd.
8. Jakovljević M., 1958 — Pojave urana u okolini Strumice. Fond str. dok. Instituta, Beograd.
9. Nedimović R., Simić V., 1955 — O geofizičkim istraživanjima na terenu Strumice. Fond str. dok. Instituta, Beograd.
10. Pavlović M., 1960 — Petrografska ispitivanja lokalnosti Bajrambos, Kara Taš, Kukliša i Svidovice. Fond str. dok. Instituta, Beograd.
11. Pešić D., Mihailović N., 1957 — O kartiranju alteracije u oblasti bliže okoline Strumice R 1:2.000. Fond str. dok. Instituta, Beograd.

12. Ristić M., Divljan S., Sikošek B., 1957 — O naknadnim petrografskim, genetskim i tektonskim ispitivanjima istražnih radova u okolini Strumice. Fond str. dok. Instituta, Beograd.
13. Ristić M. i dr., 1969 — Metalogenetska izučavanja i izrada programa istraživanja ležišta urana i torijuma u nekim perspektivnim petrogenim kompleksima SFR Jugoslavije. Fond struč. dokum. Instituta.
14. Simić V., 1959 — Izveštaj o prospekciji iz vazduha 1959. godine. Fond str. dok. Instituta, Beograd.
15. Cukućan M., 1972 — Prospekcija urana u oblasti Belasice. Fond str. dok. Instituta, br. 1817.

Summary

ĐORĐE KLAJN[1]
MILAN RISTIĆ[1]

GEOLOGICAL AND STRUCTURAL FEATURES. METALLOGENESIS AND PERSPECTIVITY OF BELASICA MOUNTAIN RELATED TO URANIUM MINRAL DEPOSITS

The western part of Belasica Mountain, composed of rhyolite and granite-porphyry, has been considered, in 1969, as highly prospective related to occurrence of uranium mineralizations. The area is located around an old lineament, where the central parts of the Serbo-Macedonian massif and the folded belt of Vardar zone are brought in mutual contact; the tectonic displacements and general petrology are also favorable, and, in addition to all these factors, the numerous uranium mineral occurrences and radioactive anomalies have been observed in this area. The conclusion on the prospective value has been reached for mineralizations formed in the Hercyan orogene phase only, and has been based on numerous data on geological and structural features, petrology and mineral composition, results of geophysical, geochemical and geochronological investigations, exploratory drilling, selected criteria applied in prospecting and exploration, as well as on some accepted theoretical models.

In 1970, new data were obtained, which pointed to the overthrusting of granites over the granite-porphyries, the later over the rhyolites, and rhyolites over the para-crystalline schists; these data considerably reduce the previously reached conclusion on the prospective value of this area. It has been also further found that the granitic rocks actually represent a volcanic-intrusive sequence, the magmatic differentiates of the same magmatic source, but which actual chronology was not presently determined.

The granitic complex, most probably of Hercyan age, has been metamorphosed, fractured and ovethrusted in Alpine orogenesis. During both these orogene phase, due to the repeated compressional and tensional stresses, the first and lower order lineaments and tectonic disturbances have been formed. Generally, there are three systems of such structures

[1] Institute for geological and mining investigation and exploration of nuclear and other raw materials, Beograd.

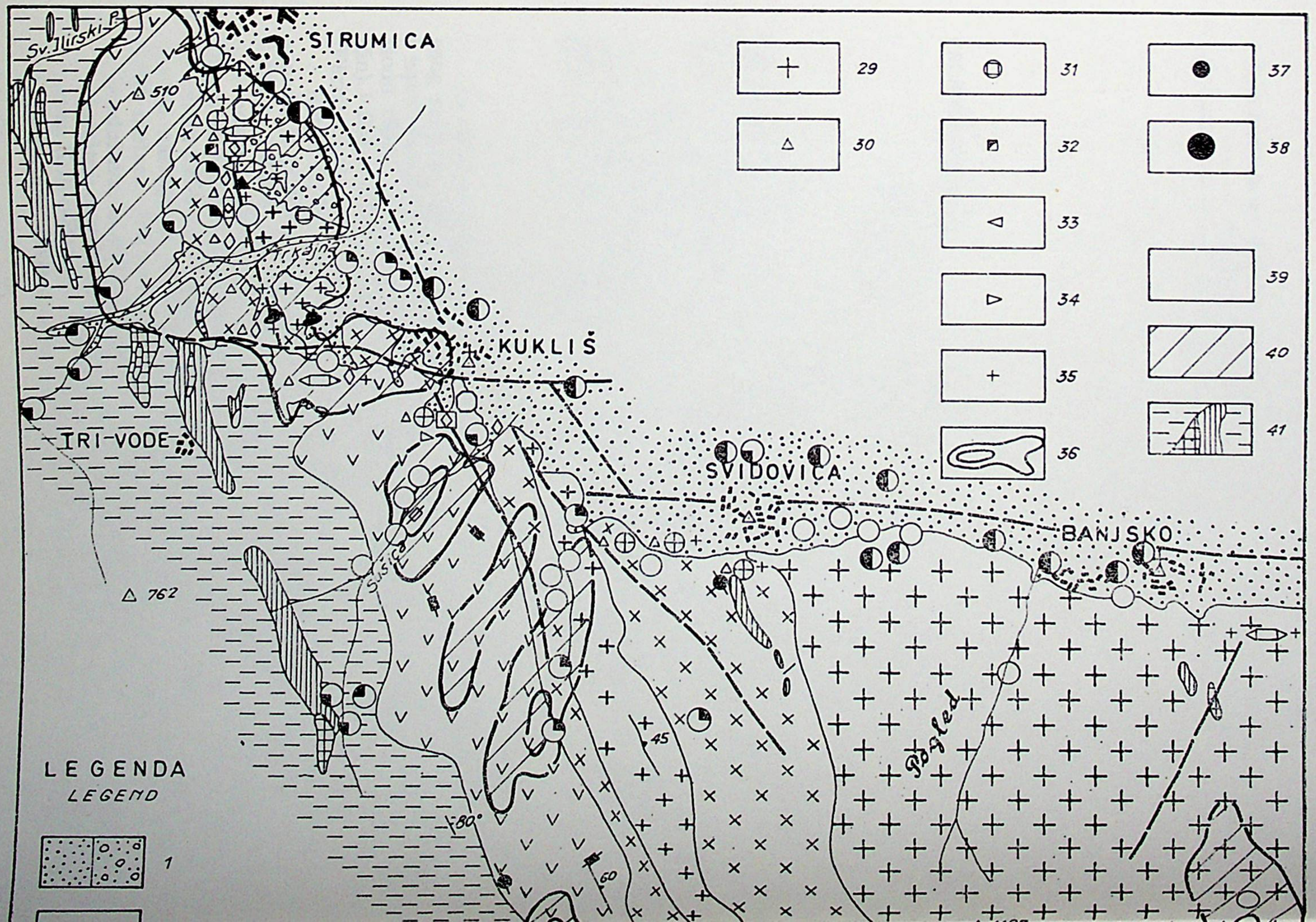
— the NW—SE trending first order structures, and lower order transversal, NE—SW, and diagonal, E—W and N—S, structures. Related to uranium mineralization, the most favorable are NE—SW transversal tensional structures, particularly at places where they intersect the first--order structures.

Both the radiometric and geochemical prospecting have failed to detect the presence of uranium deposit of economic importance at the surface, and the concealed uranium deposits should be investigated by other methods, such as structural disturbances related to uranium mineralization, the primary uranium dispersion haloes, and the zonality of alterations.

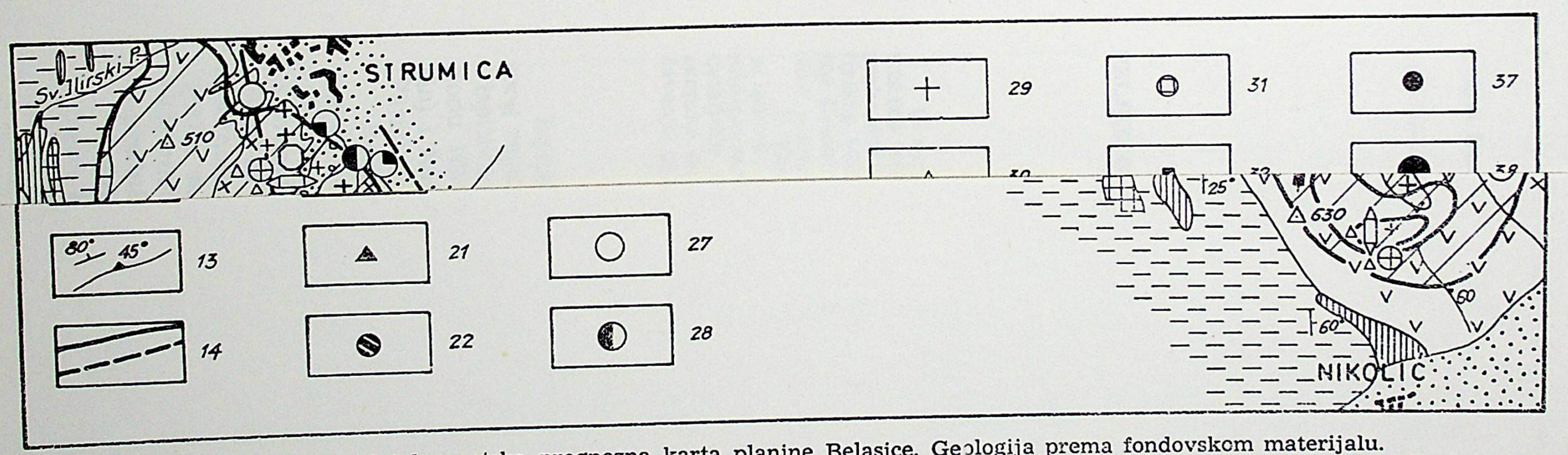
The study of alterations indicate the presence of strong weathering, which affected the uranium mineralizations as well; such places have been previously investigated, but, naturally, without positive results. In the other hand, the alterations products were metamorphosed during the Alpine orogenesis, and can not be found by usual methods.

Due to the fact that several problems remained unsolved, it is very difficult to state the prospective value of this area, or to point out the places where the uranium mineralizations can be expected. However, based on the metallogenetic analyses, the following localities are considered as prospective and shall be covered by more detailed investigations: Kukliš — Tri Vode — Strumica, Kukliš — Ajdu Taš, Svidovica — Bela Skala, Dorlobos — Činarli, Paspataj — Karani, Bajrambos, Kara Taš, and Popovnjak — Zerzeltaš area, with Adladžik — Alta Azla, Karataš and Eskair localities.

The future investigations shall be directed mainly towards the reconnaissance of these prospective areas and localities, evaluation of their prospective values, and in application of geophysical magnetic and electrical survey, mineralogical, petrological and geochemical investigation (determination of primary uranium haloes and zonality of alterations), and structural drilling, on the most prospective of these occurrences.



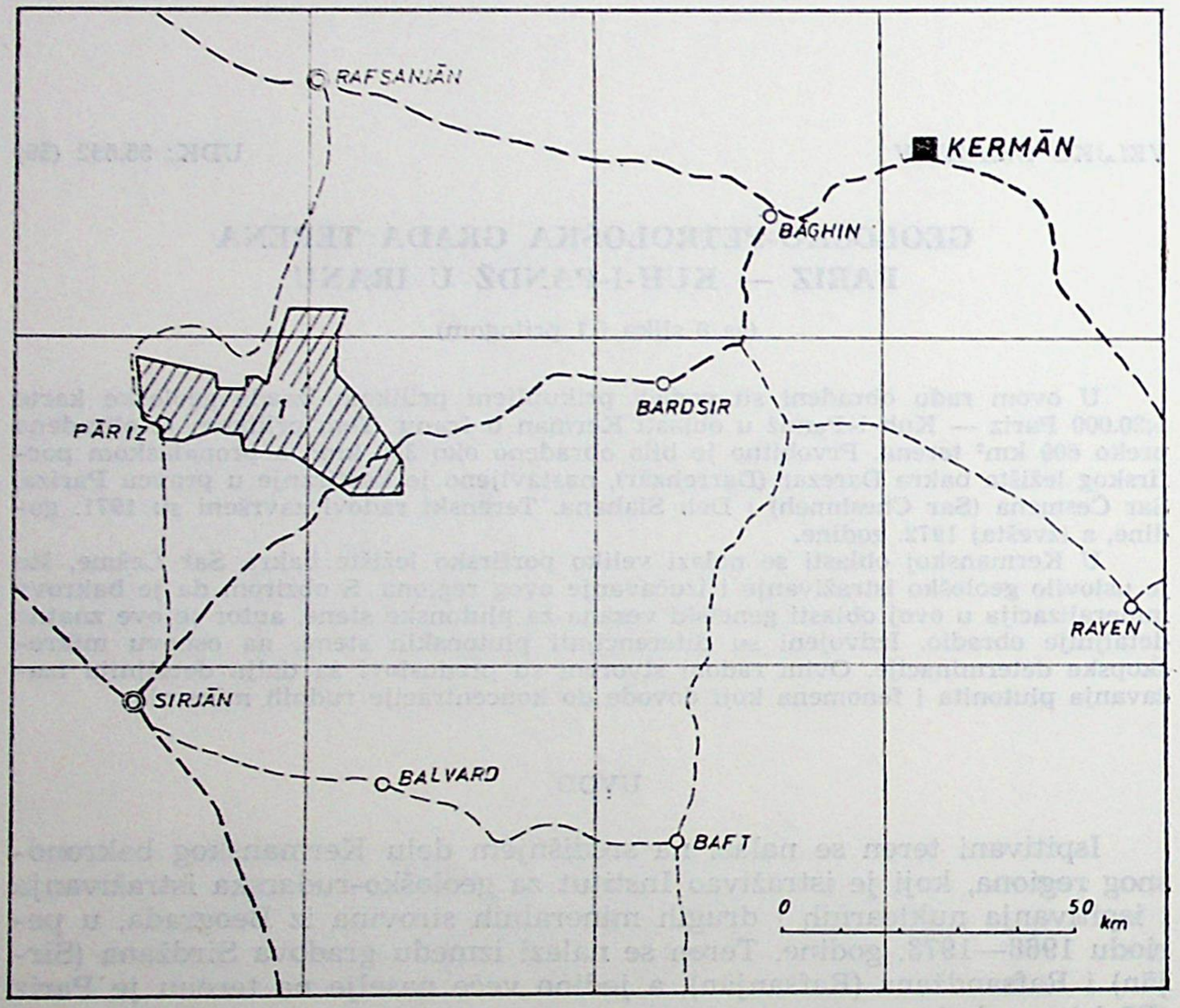
STRUMICA
Sv. Ilirski P.
510
Trkajna
KUKLIŠ
TRI-VODE
SVIDOVICA
BANJSKO
Sušica
762
Pogled
45
60
80°
LEGENDA
LEGEND
1
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41



Prilog 1. — Metalogenetska prognozna karta planine Belasice. Geologija prema fondovskom materijalu.
1. bujični i terasni sedimenti, 2. naslage gipsa, 3. graniti, 4. sitnozrni granit-porfir, 5. krupnozrni granit-porfir, 6. škriljavi riolit, 7. mikrodiorit, 8. amfibolit, 9. kalkšist i filit, 10. kvarcna žica, 11. kvarcna žica sa feldspatom i hloritom, 12. kvarcna žica sa feldspatom i ilmeno-hematitom, 13. pad i folijacija, 14. rased, 15. hidrotermalna mineralizacija sa pehblendom »čađ«, 16. oksidisana hidrotermalna mineralizacija sa sekundarnim mineralima urana, 17. oksidisana hidrotermalna mineralizacija sa limonitom i hematitom, 18. glinene salbande tektonskog poremećaja sa uranom, 19. infiltracione mineralizacije urana sa limonitom i hematitom, 20. hidrotermalne sulfidne mineralizacije, 21. sekundarne mineralizacije bakra, 22. fluoritske mineralizacije, šlihovi sa: 23. hematitom, 24. malahitom, 25. sericitom i 26. fluoritom, 27. povećan sadržaj urana u vodi, 28. povećan sadržaj radijuma u vodi, stena oko mineralizacija: 29. granit, 30. kiseli ekstruzivi, jalovina: 31. kvarc. 32. karbonati. 33. fluorit, 34. barit, 35. glina, 36. površine povećane radioaktivnosti, 37. male neperspektivne mineralizacije, 38. slabo izučene i nejasne perspektivnosti, 39. nepotpuno prospektovana površina, prema geološkoj građi dovoljno, 40. perspektivna ali nepotpuno prospektovana površina — preporučuju se dopunska ispitivanja, 41. nedovoljno prospektovana površina, ali prema geološkim odlikama neperspektivna.

Enclosure № 1. — Prognostic metallogenetic map of Belasica mountain. Unpublished reports, Geoinstitute's Fond of Documents. 1. Dasht and terrace sediments, 2. Gypsum deposits, 3. Granite, 4. Fine-grained granite-porphyry, 5. Coarse-grained granite-porphyry, 6. Schistose rhyolite, 7. Micro diorite, 8. Amphibolite, 9. Calc-schist e and phylite, 10. Quartz vein, 11. Quartz vein with feldspar and chlorite, 12. Quartz vein with feldspar and ilmeno-hematite, 13. Dip and foliation, 14. Fault, 15. Hydrothermal mineralization with »soothy« pitchblende, 16. Hydrothermal, oxidized mineralization with secondary uranium minerals, 17. Hydrothermal, oxidized mineralization with limonite and hematite, 18. Argillic salband produced by structural displacment, with uranium, 19. Infiltration mineralization with uranium, limonite and hematite, 20. Hydrothermal sulfide mineralization, Heavy mineral concentrate: 23. Ilmenite, 24. Malachite, 25. Sericite and 26. Fluorite, 27. Increased uranium concentration in water, 28. Increased radium concentration in water, Country rock: 29. Granite, and 30. Acidic extrusive rocks, Gangue: 31. Quartz, 32. Carbonates, 33. Fluorite, 34. Barite, and 35. Clays, 36. Area of increased radioactivyty, 37. Unsufficient — non — prospective mineralization, 38. Unsufficiently studied and of undefined perspectivity, 39. Area unsufficiently prospected, but geological featores no additional explorations are considered as necessary, 40. Perspectival but unsuficiently prospected area, recommended for additional investigation, 41. Unsufficiently prospected area but according geologic data of no potential value.

Hidrografska mreža je veoma razvijena. Reke i potoci su uglavnom bez vode, sem za vreme topljenja snega. Vodu stalno imaju samo najveće reke koje dreniraju velike površine. Potoci sa planinskih grebena teku periklinalno, a imaju relativno široke doline. Klisure i kanjoni su najčešći na južnim padinama Kuh-i-Mamzara (Pariska reka) i severnim padinama Kuh-i-Pandža (reka Giveh Dari). Hidrografska mreža je veoma razvijena u neogenim tvorevinama (mlad reljef).



Sl. 1 — Skica položaja istraživanog terena.

Fig. 1 — Sketch map indicating the investigated area.

Klima je suva kontinentalna, sa vrlo toplim letima i oštrim zimama. Prelazna godišnja doba praktično izostaju (proleće i jesen). Padavina ima uglavnom od januara do aprila, najviše u obliku snega, koji se istopi najkasnije u maju mesecu.

Ispitivani teren zahvata površinu od Pariza, odnosno Sirdžanskog platoa na zapadu i jugu, do granice Sar Česmenske koncesije, severnog podnožja Deh Sijahanskih planina i istočnih padina Kuh-i-Pandža (prilog 1). Geološka karta 1:20.000 se sastoji od 9 listova (V. Omaljev, 1972), a

zahvata teren na štampanim listovima geološke karte 1:100.000 Rafsanjan I, Rafsanjan II, Pariz i Chahar Gonbad (Čar Gonbad).

Pored autora, na terenskim radovima povremeno su učestvovali S. Isailović, M. Cukućan, V. Grabeljšek i R. Milošaković. Petrografske odredbe stena radili su Dr S. Divljan, M. Đorđević, S. Cvetić, W. A. Watters i M. Pazirandeh.

Dugujem zahvalnost Geološkom zavodu Irana iz Teherana (Geological Survey of Iran, Teheran) za dozvolu objavljivanja geoloških podataka sa ovog terena.

GEOLOŠKA GRAĐA TERENA

Geološku osnovu terena izgrađuju stene vulkanogeno-sedimentnog kompleksa, eocenske starosti. Starije stene, podloga ove formacije, nisu otkrivene na ovom terenu. Mnogobrojne plutonske i subvulkanske intruzije, dajkovi i nekovi efuzivnih stena, probijaju ovu formaciju praktično na celoj kartiranoj površini. Najmlađe tvorevine neogene i kvartarne starosti, po obodu terena zaplavljuju starije stene.

Na osnovu litološke korelacije, s obzirom na odsustvo fosilnih ostataka organizama, sa drugim terenima, starost vulkanogeno-sedimentnog kompleksa je prelimirano određena kao gornjeeocenska, uključujući i prelaz iz srednjeg u gornji eocen (listovi karte 1:100.000 Rafsanjan I i II, Pariz i Chahar Gonbad).

Po kasnijoj interpretaciji M. D. Dimitrijevića na karti 1:500.000, starost je verovatno srednje i gornjeeocenska (M. D. Dimitrijević, 1973).

Plutonske stene su mlađe, a stvarane su najverovatnije u oligomiocenskom vremenu. Dubina stvaranja bila je relativno mala, ove stene pripadaju hipoabisalnim plutonitima, nekad na granici subvulkanskog nivoa stvaranja. Zato pojedini, uglavnom obodni, diferencijati imaju porfirsku strukturu.

Mlađe efuzivne stene na ovom terenu su često veoma razorene erozijom, utoliko više ukoliko su starije. Zato su mlađi vulkaniti uglavnom subvulkanskog, vrlo retko subaerskog nivoa stvaranja (tada ih prate njihovi piroklastiti). Vreme stvaranja je posteocensko do gornjeneogeno.

Tvorevine neogene starosti podeljene su, na osnovu litološkog sastava i stepena dijageneze, na starije i mlađe. Veliki hiatus između vulanogeno-sedimentnog kompleksa i starijeg neogena obuhvata vreme oligomiocena.

Kvartarne tvorevine su takođe podeljene na starije cementovane i mlađe rastresite naslage, uključujući i recentne aluvijalne rečne nanose.

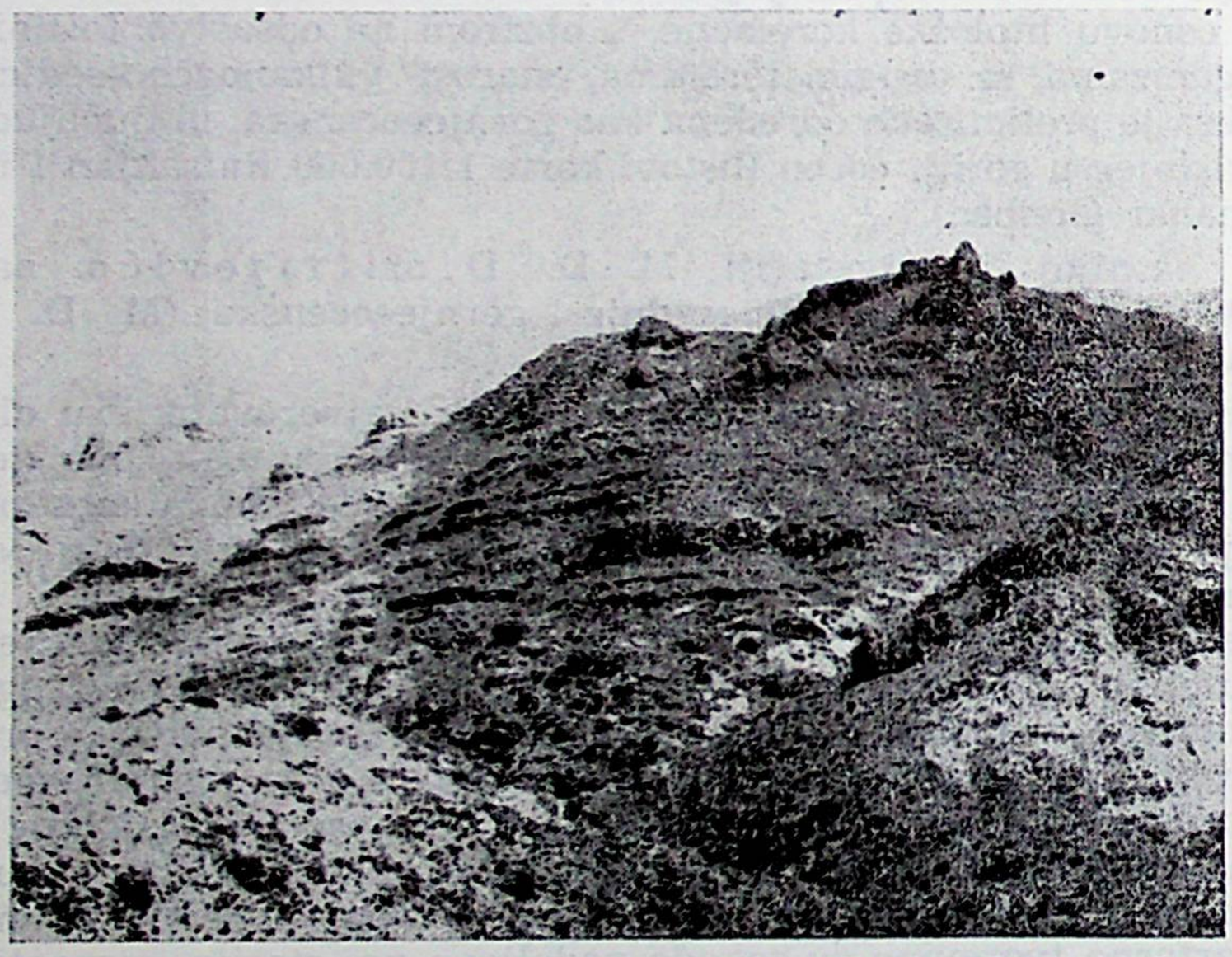
Eocen — Razak kompleks

Najstarije stene na istraživanom terenu predstavljaju vulkanogeno-sedimentnu seriju. Ovaj deo vulkanogeno-sedimentnog kompleksa M. D. Dimitrijević (1973) izdvaja kao *Razak kompleks* (geološka karta 1:500.000), koji regionalno leži konkordantno preko srednjeeocenskog sedimentnog kompleksa. Regionalno, Razak kompleks je podeljen na tri subkompleksa, od kojih su *donji subkompleks* (ER$_1$—25) i *srednji sub-*

kompleks (ER₂—21) zastupljeni na ovome terenu. U reonu Pariza između ova dva subkompleksa, po našem terenskom zapažanju, nesumnjivo postoji diskordancija (prilog 1).

Glavno razviće donjeg Razak subkompleksa je na planinama Kuh-i--Mamzar i Band-i-Mamzar, zato ovu geološku jedinicu zovemo M a m z a r s u b k o m p l e k s.

Debljina vulkanogeno-sedimentnog kompleksa na ovom prostoru je nepoznata, a svakako iznosi više hiljada metara. Stratigrafska raščlanjavanja su onemogućena nedostatkom fosilnih ostataka organizama. Ove tvorevine su raščlanjene litološki (V. O m a l j e v, 1972). Izdvojeni litološki članovi su uslojeni u seriju i analogni su stratigrafskim članovima. Izdvojeni su vulkaniti i sedimenti. U slučaju da se vulkaniti i sedimenti ne mogu izdvojiti zbog vrlo čestog smenjivanja relativno tankih i neregularno razvijenih slojeva, odnosno slivova, ostaju kao neraščlanjeni vulkanogeno-sedimentni kompleks. Na prilogu 1 je data interpretacija geološke građe u sitnijoj razmeri, te su izdvojene samo krupnije litološke jedinice.



Sl. 2 — Vulkanogeno-sedimentni kompleks. Slivni andeziti (strče u reljefu) i andezitske breče.

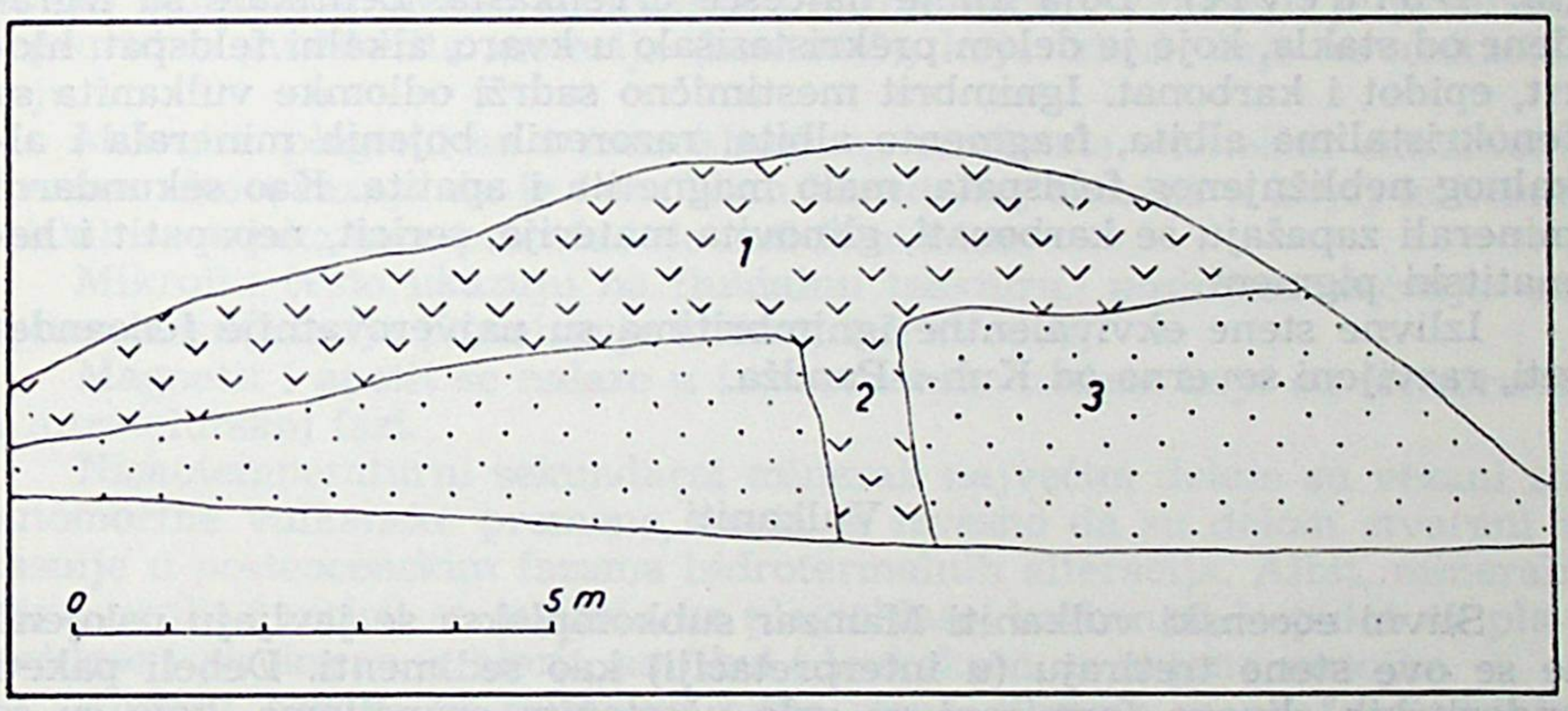
Fig. 2 — Volcanic-sedimentary complex. The andesite flows (small ridges) and andesite breccias.

Izdvojeni litostratigrafski članovi Razak kompleksa se više puta ponavljaju u seriji, bez neke određene pravilnosti (sl. 2). Nije zapažena nikakva razlika sedimenata u raznim nivoima litostratigrafskog stuba. Kod vulkanita je zapažena razlika, mlađi vulkaniti Mamzar subkompleksa imaju trahitski karakter i izdvojeni su kao poseban član.

Dajkovi eocenskih vulkanita su vrlo česti u svim delovima Razak kompleksa. Njihov postanak je u vezi sa erupcijama lave, koja je ispunjavala sve raspoložive pukotine. Debljine dajkova su najčešće m-dimenzija, a mogu se pratiti nekada više stotina metara. Makroskopski i mikroskopski, dajkovi se ne razlikuju od odgovarajućih varijeteta vulkanita, po pravilu su holokristalasti, stvarani u subvulkanskom nivou.

Na ispitivanom terenu nisu zapaženi centri eruptivne delatnosti, vulkanske kupe i nekovi. Geološki oblik pojavljivanja vulkanita je sliv — pločasto geološko telo koje se nalazi »uslojeno« u seriji. Ovi slivovi su najverovatnije postali pukotinskim erupcijama lave. Andeziti se nekad javljaju kao masivna, verovatno subvulkanska tela? Neki dajkovi su u stvari iskristalisala lava u pukotinama kroz koje se vršilo izlivanje, na terenu je posmatrano kako andezitski dajk prelazi u sliv (sl. 3), preko andezitskog tufa.

U vulkanitima preovlađuju bazičniji predstavnici (andeziti), a veoma podređeno se nalaze kiseliji predstavnici (trahiti i daciti).



Sl. 3 — Andezitski dajk prelazi u sliv.
1 — andezitski sliv; 2 — dajk; 3 — andezitski tuf.

Fig. 3 — Transition of an andesite dyke into a flow.
1 — Andesite flows; 2 — Dyke; 3 — Andesitic tuff.

Mamzar (donji Razak) subkompleks

U starijem delu Mamzar subkompleksa andeziti su bazičniji, kasnije dolazi do povremenih erupcija sve kiselijih lava, neki andeziti predstavljaju prelaz prema trahitima.

Interpretacija M. D. Dimitrijevića (1973) pretpostavlja da je između Kuh-i-Pandža i Deh Siahana razvijen srednji Razak subkompleks. Vulkaniti ovog dela serije su različiti, ali strukturna građa ovoga terena ne može se interpretirati kao kompletna sinklinala. Ove stene ni najmanje ne liče na stene okoline Pariza (npr. izostaju krečnjaci). Naša interpretacija je da je to isti subkompleks, sa malom razlikom u petrološkom sastavu vulkanita (i na drugim terenima vulkaniti ovog subkompleksa imaju trahitski karakter).

Bazičniji andeziti su kristalisali (po M. Đorđeviću) iz suvih pregrejanih, jako degaziranih lava, koje su bile veoma mobilne te su se lako dovodile do prostranih pukotinskih erupcija. Formirani su andezitski slivovi velikog prostranstva, a obično male debljine, koja retko prelazi jedan metar. Posle stvaranja sliva dolazi do odlaganja piroklastita, koji često preovlađuju nad andezitima. Ukoliko je vreme do sledeće erupcije duže, dolazi do sedimentacije breča, ređe peščara.

Središnji delovi Mamzar subkompleksa imaju pojave ignimbrita i ignimbrit porfirita. Ove stene su se obrazovale iz jako viskoznih rastopa neutralnog ili kiselog sastava. Ovakvi rastopi vrlo retko obrazuju normalne izlivne stene, obično dolazi do burne, eksplozivne, erupcije koje daju zagrejan piroklastičan materijal bogat gasovima. Tako se obrazuju ignimbritski izlivi koji se na terenu vide kao slivovi »fluidalnog andezita«, sa tragovima tečenja ignimbritskih fragmenata. Ovi slivovi po dimenzijama odgovaraju normalnim andezitskim slivovima.

Ignimbritske stene najčešće odgovaraju lentikularnim ignimbritima (M. Đorđević). Boja im je najčešće crvenkasta. Lentikule su izgrađene od stakla, koje je delom prekristasisalo u kvarc, alkalni feldspat, hlorit, epidot i karbonat. Ignimbrit mestimično sadrži odlomke vulkanita sa fenokristalima albita, fragmente albita, razorenih bojenih minerala i alkalnog nebližnjenog feldspata, malo magnetita i apatita. Kao sekundarni minerali zapažaju se karbonati, glinovita materija, sericit, neoapatit i hematitski pigment.

Izlivne stene ekvivalentne ignimbritima su najverovatnije fenoandeziti, razvijeni severno od Kuh-i-Pandža.

Vulkaniti

Slivni eocenski vulkaniti Mamzar subkompleksa se javljaju uslojeni, te se ove stene tretiraju (u interpretaciji) kao sedimenti. Debeli paketi andezitskih slivova formirani su vrlo učestanim erupcijama, koje su se nadovezivale jedna na drugu. Debljina pojedinih slivova retko je veća od metra, a debljina litostratigrafskog člana može biti više stotina pa i hiljada metara.

Ovakve faze intenzivnih pukotinskih erupcija više puta su se ponavljale. Stariji članovi su izgrađeni od bazičnijih predstavnika, kasnije nastupaju kiseliji vulkaniti. Diferencijacija ognjišta vremenom je napredovala, te se u višim nivoima Mamzar subkompleksa povremeno stvaraju andeziti latitskog karaktera.

Vulkaniti su podeljeni na *starije* i *mlađe* (latitskog afiniteta).

Stariji vulkaniti su predstavljeni piroksenskim andezitima, ukoliko je količina monokliničnog piroksena povećana, uz bazičnije plagioklase, prelaze u andezit bazalte, a pojavom olivina u bazalte.

Makroskopski se mogu razlikovati nekoliko vrsta andezita:

1. *Afanatični andeziti* su jedre stene bez vidljivih fenokristala.

2. *Porfirski andeziti* su sa fenokristalima feldspata mm-dimenzija. Javljaju se u slivovima veće debljine od prethodnih. Ovo je najčešći tip andezita.

3. *Megaporfirski andeziti* sa krupnim fenokristalima feldspata cm-dimenzija. Izgrađuju debele slivove ili serije slivova velike debljine, nekad više stotina metara debljine.

Mikroskopski (S. Divljan, M. Đorđević), svi andeziti su normalno porfirske do normalno oligofirske strukture (retko polifirske). Osnovna masa je obično mikrokristalasta, retko hipokristalasta, jer je staklo delom prekristalisalo ili je zamenjeno sekundarnim karbonatom i hloritom.

Fenokristali su zonarni plagioklas, najčešće andezin — labrador, monoklinični piroksen (nekad augit) i ređe hornblenda. Plagioklasi su redovno sericitisani, albitisani, ređe argilizirani, skapolitizirani i karbonatisani. Bojeni sastojci su najčešće hloritisani i karbonatisani, hornblenda je nekad uralitisana.

Osnovnu masu najčešće izgrađuju mikroliti palgioklasa i monoklinič-nog piroksena. Staklo je ređe prisutno. Epigenetske promene su takođe zahvatile osnovnu masu koja je takođe albitisana, sericitisana, karbonatisana, hloritisana, nekad zeolitisana i silifikovana. Vrlo često je prisutna neprovidna gvoždevita materija (hematit?), koja steni daje crvenkastu boju.

Mikroliti plagioklasa i monokliničnog piroksena su nekad simultano stvarani, što ukazuje da je lava blizu bazaltskog sastava u kojoj količina salskih sastojaka lako preovlađuje nad femičnim.

Mikroliti često ukazuju na fluidalnu teksturu, posledicu tečenja za vreme kristalizacije (formiranje andezitskih slivova).

Magnetit i apatit se nalaze u izometričnim zrnima koja su formirana u intratelurskoj fazi.

Niskotemperaturni sekundarni minerali najvećim delom su vezani za automorfne vulkanske promene, mada je izvesno da su delom stvarani i kasnije u posteocenskim fazama hidrotermalnih alteracija. Albit, minerali glina, zeolit i sericit se javljaju uz plagioklase, karbonati i epidot uz plagioklase i piroksene, a hlorit, amfibol i leukoksen uz bojene sastojke.

Andezit bazalti su relativno retke stene. Sastoje se od fenokristala bazičnog plagioklasa (uglavnom labrador) i monokliničnog piroksena. Isti minerali se javljaju i u osnovnoj masi.

Bazalti su veoma retko zastupljeni. Sastoje se od fenokristala monokliničnog piroksena i potpuno hloritisanog olivina. Olivin je nekad pretvoren u idingsit? (M. Đorđević) ili bovlingit? (ova dva minerala su vrlo slična). Osnovna masa je izgrađena od mikrolita plagioklasa, augita i obilja sitnih zrna crnog metaličnog minerala. Pojavom mikrolita K-feldspata ove stene predstavljaju prelaz ka *trahiandezit bazaltima.*

Mlađi vulkaniti su razvijeni u višem delu serije. Uz normalne andezite zastupljeni su trahiandeziti, koji u višim delovima serije preovlađuju. Ove stene se nalaze severno od Kuh-i-Pandža. U nižem delu serije razvijeno je nekoliko nivoa, koji se u oblasti Deh Siahana spajaju u jednu seriju debelu više hiljada metara.

Ove stene su kristalisale iz alkalnih (kalijskih) magmatskih rastopa. Diferencijacija ognjišta napredovala je postepeno, u višim nivoima serije vulkaniti su sve alkalniji. Ovi rastopi u celini sadrže povećanu količinu vode, što se odrazilo na kristalizaciju i obilnije razviće niskotemperaturnih minerala (automorfne alteracije).

U ovom litostratigrafskom članu praktično izostaju afanatični varijeteti, a ostali su zastupljeni. Posebno se izdvaja megaporfirski varijetet sa izuzetno krupnim fenokristalima feldspata, takav nije zapažen u starijim vulkanitima.

Ovu seriju vulkanita izgrađuju *trahiandeziti, andeziti, fenoandeziti, andezit bazalti* i ređe *trahibazalti.*

Andeziti i *andezit bazalti* su slični sa istorodnim stenama starijih vulkanita.

Kao i stariji vulkaniti i ove stene grade prostrane izlive, koji se mogu pratiti više od 10 kilometara. Pojedini slivovi su retko deblji od metra, a vrlo je česta pojava »nadslojavanja« koji grade serije slivova debljine više stotina i hiljada metara, sa više hiljada slivova bez značajnijih interkalacija piroklastita.

Trahiandeziti su obično porfirske ili megaporfirske strukture. Sastoje se od fenokristala zonarnog plagioklasa (pretežno andezin), retko monokliničnog piroksena. Osnovna masa je izgrađena od mikrolita plagioklasa, alkalnog feldspata, monokliničnog piroksena (najverovatnije augita) i vrlo retko rombičnog piroksena. Alkalni feldspat (delom kalijski) obično gradi vence oko krupnih zonarnih fenokristala. Od akcesornih minerala magnetit je češći od apatita (sfen je redak). Niskotemperaturni minerali su sekundarni albit, sericit, karbonati, hlorit, epidot, uralit, zeolit i kvarc. Ovi minerali su pretežno razvijeni automorfnim promenama feldspata i piroksena.

Trahibazalti su ređe stene. Sastoje se od fenokristala zonarnog plagioklasa, monokliničnog i rombičnog piroksena. Osnovna masa je izgrađena od mikrolita plagioklasa, monokliničnog piroksena i alkalnog feldspata.

Struktura trahiandezita i trahibazalta je holo do hipokristalasto porfirska do oligofirska, nekad afirska.

Eocenski daciti su retke stene na ovom terenu. Razvijeni su u nižem delu subkompleksa, na krajnjem istočnom delu terena (prilog 1). Ove stene se makroskopski relativno teško razlikuju od okolnih andezita, jer su fenokristali kvarca retki, vide se samo fenokristali feldspata u crvenoj osnovi. Javljaju se u debelim uslojenim telima (slivovima) jasne fluidalne teksture tečenja. Nekad sadrže znatnu količinu anklava eocenskih andezita, delimično svarenih. U masi, stena nekad ima brečastu teksturu koja je potencirana površinskim raspadanjem, nastala verovatno sporim tečenjem viskozne dacitske lave. Površina lavičnog sliva se hladila i očvršćavala, ova kora se pod pritiskom lomila i mešala sa gustom tečnom lavom.

Daciti nemaju slivove velikog prostranstva i ne prate se na velikoj dužini. Na mestima stvaranja debljina može biti nekoliko stotina metara.

Daciti su holo do hipokristalasto porfirske strukture (S. D i v l j a n). Sastoje se od fenokristala slabo zonarnog plagioklasa (kiseli andezin) i resorbovanog bipiramidalnog kvarca, bojeni minerali su potpuno razoreni (verovatno pirokseni). Osnovna masa sadrži mikrolite K-feldspata i kiselih plagioklasa. Staklo je prekristalisalo (kvarc, kalcedon) ili potisnuto zeolitom i Fe-oksidima. Ukoliko je alkalnih feldspata više, dacit je na prelazu u riodacit (severno od Pariza).

Eocenski trahiti su retke stene, nalaze se u srednjem delu ovog subkompleksa. Javljaju se kao slivovi ili manja (verovatno subvulkanska) tela neregularnog, diskontinuiranog razvića, na Band-i-Mamzaru.

Trahiti su sveže, sive ili crvenkaste stene, jasne porfirske strukture, nekad fluidalne teksture, sa fenokristalima belih feldspata. Nekad sadrže obilje anklava andezita. Zapaženo je da varijeteti sa anklavama imaju crvenu osnovnu masu; to je verovatno posledica asimilacije andezitske materije.

Mineraloški sastav ovih stena je sledeći: fenokristali su albitski plagioklas, razorena hornblenda i augit. Osnovna masa je kriptokristalasta, izgrađena od albitskog plagioklasa, neprovidne materije, K-feldspata i sekundarnih minerala sericita i karbonata. Struktura holokristalasto porfirska, fluidalna. Ovi albitski trahiti nekad su blizu trahiandezitima.

Sedimenti

Sedimenti Mamzar subkompleksa su razvijeni u svim njegovim nivoima. Preovlađuju krupnozrni klastiti, *andezitske breče* i *aglomerati*, nad *tufovima* i *peščarima*. Relativno je redak slučaj kada sedimenti toliko preovlađuju da se mogu izdvojiti na većoj površini (prilog 1).

Breče i *aglomerati* su najčešći predstavnici sedimenata. Posle faza eksplozivnih pukotinskih erupcija andezitske lave, za vreme relativnog mirovanja, dolazi do presedimentacije izbačenog piroklastičnog materijala i razaranja tek formiranih lavičnih slivova. Breče i aglomerati su produkt vrlo burne sedimentacije i najčešće ispunjavaju udubljenja u paleoreljefu. Slojevitost je slabo izražena, banci su obično velike debljine.

Ovi sedimenti su izgrađeni od oštroivičastih do poluzaobljenih valutaka andezita. Ulogu cementne materije igraju tufovi, srednjezrni do sitnozrni, nekad alevrolitični, takođe andezitskog sastava.

Tufovi se obično nalaze kao interkalacije u psefitima. Kada se smenjuju sa peščarima mogu izgrađivati serije veće debljine, kao na Band-i-Mamzaru.

Andezitski tufovi su kristaloklastične do alevrolitsko kristaloklastične strukture. Izgrađeni su od odlomaka vulkanita, ređe albitskih trahita, razorenih plagioklasa, albita, piroksena, amfibola, vrlo retko odlomaka stakla, raspršene glinovite materije i sekundarnog kvarca. Magmatski minerali su redovno sericitisani, hloritisani i karbonatisani. U šupljinama je često razvijen epidot, zeolit, kvarc i ređe kalcedon ili opal.

Dacitski tufovi su vrlo retke stene. Nalaze se u blizini dacitskih slivova, ali nekad ima dacitoidnog tufa u seriji piroklastita.

Peščari su redovno tufoznog karaktera i predstavljaju prelaz u tufite. Sastoje se od sitnih fragmenata eocenskih vulkanita, plagioklasa, piroksena, amfibola i niskotemperaturnih minerala. Cementna materija je pretežno karbonatna, ređe limonitsko-argilitska. Severno od Pariza peščari su dobro sortirani i dobro uslojeni. Struktura ovih stena je psamitska.

Srednji Razak subkompleks

Tvorevine srednjeg Razak subkompleksa razvijene su na zapadnom delu terena, u okolini Guina i Pariza, odnosno Kuh-i-Gula (Kuh-e-Ghul). Ove tvorevine leže preko stena Mamzar (donjeg Razak) subkompleksa. U okolini Guina jasno se zapaža da sedimenti sa padom ka jugozapadu leže preko masivnih andezita (prilog 1). Nešto severnije andeziti padaju ka severoistoku. Mada nigde na terenu nije jasno zapažen diskordantni odnos, vrlo je verovatno da postoji diskordancija između ova dva subkompleksa.

Na zapadnim padinama Kuh-i-Mamzara, interpretirana je granica ove dve serije, a na terenu se granica ne može zapaziti u vrlo heterogenoj seriji vulkanita i neregularno razvijenih sedimenata. Kod Kuh-i-Gula jasno se zapažaju dobro uslojeni peščari koji leže na andezitima i brečama.

Slično prethodnom, srednji Razak subkompleks je takođe izgrađen od vulkanita i sedimenata, koji često nisu mogli biti izdvojeni.

Vulkaniti

Vulkaniti srednjeg Razak subkompleksa se ni po čemu ne razlikuju od vulkanita starijeg dela Mamzar subkompleksa. Predstavljeni su pretežno *piroksenskim andezitima*, ređe *andezit bazaltima* i vrlo retko *bazaltima*. Makroskopski i mikroskopski, ove stene su slične ranije opisanim.

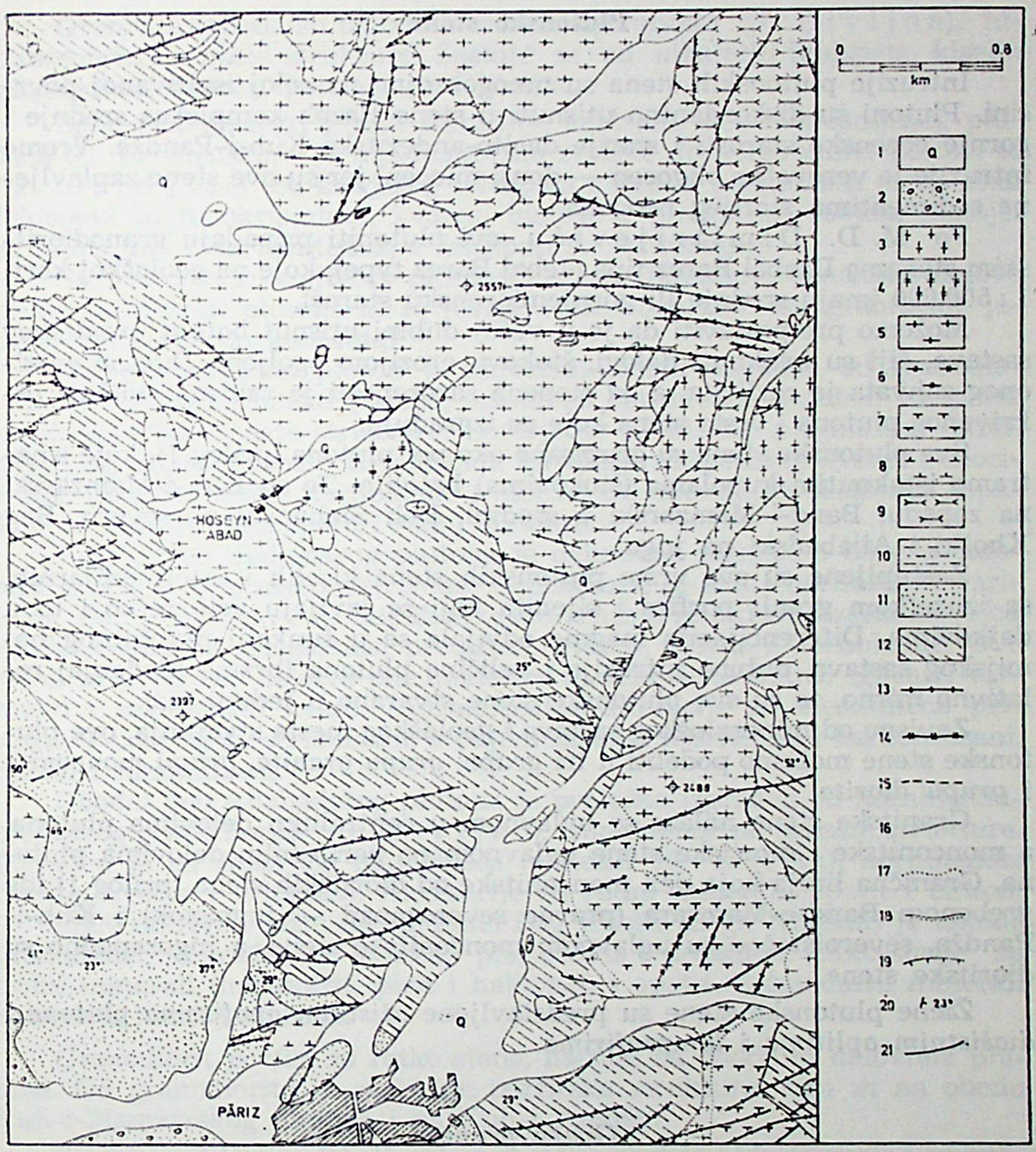
Severno od Pariza (prilog 1, sl 4) nalazi se sliv eocenskog dacita, koji je sličan sa ranije opisanim (S. Cvetić). Makroskopski, ova stena se ne razlikuje od okolnih andezita.

Zapadno od Guina nalaze se *eocenski slivni trahiti*, koji su konkordantni sa okolnim sedimentima. Neke manje partije su prividno diskordantne jer su neregularno razvijene.

Makroskopski, ova stena je malo alterisana verovatno automorfnim procesima. Sivoružičaste je boje sa sitnim fenokristalima feldspata ili afanatična. Mikroskopski (S. Divljan), sastoji se od retkih fenokristala kiselog plagioklasa (albit sa reliktnom zonarnošću), nekad malo potpuno promenjenih bojenih sastojaka. Osnovna masa sadrži dosta alkalnog feldspata i kiselog plagioklasa. Sekundarni minerali (sericit, hlorit, karbonati, epidot) su vrlo česti produkti promene fenokristala i osnovne mase. Stena je albitski trahit (keratofir), nekad prelaz prema trahiandezitima.

U seriji *peščara* i *tufova*, zapadno od Guina, razvijeni su slojevi crnog *krečnjaka*, do jednog metra debljine. Slojevi krečnjaka su veoma retko zastupljeni. Ne sadrže fosilne ostatke organizama, već samo sitne fragmente silicijskih stena.

Južno od Pariza razvijeni su slojevi beličastog glinovitog krečnjaka. Dobro je izražena slojevitost, a slojevi su ubrani, razvijeni su uspravni jako stisnuti nabori. Na mestima gde je u krečnjaku razvijena fina stratifikacija, razvijeni su sekundarni nabori.



Sl. 4 — Geološka karta okoline Pariza.

1 — Kvartarni nanos; 2 — dacitsko-andezitski aglomerati i tufovi; 3 — granodiorit; 4 — granodiorit porfir; 5 — kvarcdiorit. 6 — kvarcdiorit porfirit; 7 — diorit; 8 — diorit porfirit; Srednji Razak subkompleks: 9 — andeziti i andezit bazalti; 10 — daciti; 11 — sedimenti; 12 — vulkaniti, piroklastiti i sedimenti; Dajkovi: 13 — apofize intruziva; 14 — lamprofiri; 15 — eocenski vulkaniti; 16 — geološka granica; 17 — postepen prelaz; 18 — eroziona diskordancija; 19 — intruzija; 20 — pad; 21 — rased.

Fig. 4 — Geological map of Pariz area.

1 — Quaternary deposits; 2 — Dacitic and andesitic agglomerates and tuffs; 3 — Granodiorite; 4 — Granodiorite porphyry; 5 — Quartzdiorite; 6 — Quartzdiorite porphyrite; 7 — Diorite; 8 — Diorite porphyrite; Middle Razak Subcomplex; 9 — Andesite and andesite basalt; 10 — Dacites, 11 — Sediments, 12 — Volcanites, pyroclastites and sediments; Dykes: 13 — Apophyses intrusive rocks; 14 — Lamprophyres; 15 — Eocene volcanites; 16 — Geologic boundary; 17 — Gradual transition; 18 — Nonangular unconformity; 19 — Intrusion; 20 — Dip; 21 — Fault.

Plutonske stene

Intruzije plutonskih stena su mnogobrojne na celoj ispitivanoj površini. Plutoni su diskordantno utisnuti u stene Razak kompleksa srednje i gornje eocenske starosti i starije dacito-andezitske Kuh-i-Pandža. Vreme intruzije je verovatno oligocen — donji miocen, jer su ove stene zaplavljene sedimentima starijeg neogena.

Po M. D. Dimitrijeviću ovi plutoniti pripadaju granodioritskim stenama Džebal Barez tipa (Jebal Barez type), koje na geološkoj karti 1 : 500.000 imaju srednje ili gornjemiocensku starost.

Možemo pretpostaviti da je u većoj dubini utisnut *batolit granitskog* sastava, čiji su istaknuti delovi, štokovi, erozijom ogoljeni. Dubina erozionog zahvata je različita, a od stepena razorenosti je zavisna veličina otkrivenog plutona i vrsta stena koje ga izgrađuju.

Sve plutonske stene su grupisane oko pet plutona (prilog 1), koje smatramo istaknutim kupolama (štokovima) batolita. To su Kuh-i-Mamzarski na zapadu, Band-i-Mamzarski u sredini, Deh Siahanski na severu, Bag Khoški i Aliabadski na jugu.

Zastupljene su sve vrste plutonskih stena kiselih i intermedijarnih, sa izuzetkom granit porfira i sijenita koji se javljaju vrlo retko i to u dajkovima. Diferencijacija magme odvijala se u funkciji prvobitnog hemijskog sastava, dubine intruzije i veličine plutona (brzine hlađenja) relativno mirno, te su sve plutonske stene stvarane u jednoj fazi.

Zavisno od mineraloškog sastava i geološkog mesta stvaranja, ove plutonske stene možemo podeliti u tri grupe: *grupu granita, grupu monconita* i *grupu diorita.*

Granitske stene nalaze se uglavnom u centralnim delovima plutona, a monconitske i dioritske stene uglavnom po perifernim delovima plutona. Granična linija koja deli monconitske od dioritskih stena (prilog 1) ide grebenom Band-e-Mamzara (pravac severozapad — jugoistok) i Kuh-i-Pandža, severoistočno su uglavnom monconitske stene, a jugozapadno su dioritske stene.

Žične plutonske stene su predstavljene *ažistnim apofizama plutona* i *diašistnim aplitima* i *lamprofirima.*

Grupa granita

Ovu grupu plutonskih stena čine *graniti, granodioriti, granodiorit porfiri* i *tonaliti.*

Graniti se nalaze u centralnim delovima plutona. Najviše ih ima u štoku Kuh-i-Mamzara, koji je erozijom najdublje razoren. Pluton Aliabada, na južnom obodu karte, je takođe duboko razoren do granitskog jezgra, a na Band-i-Mamzaru graniti su najmanje otkriveni.

Kuh-i-Mamzarski granit je hornblenda-biotitski varijetet (S. Cvetić), hipidiomorfno zrnaste strukture. Izgrađen je od ortoklasa, mikropertita, kiselih plagioklasa (albit-oligoklas, nekad oligoklas-andezin), kvarca, hornblende i biotita (koji retko preovlađuje nad bojenim sastojcima). Od sekundarnih minerala zastupljeni su: sericit, hlorit, leukoksen i karbonati, a akcesorni su cirkon, sfen, apatit i rudni minerali.

Graniti Aliabada su takođe hornblenda-biotitski (S. D i v l j a n), hipidiomorfno zrnaste strukture. Sastoje se od alkalnih feldspata, kiselih plagioklasa, kvarca, hornblende i biotita.

Band-i-Mamzarski granit izgrađuje centralni deo monconitskog plutona (sl. 6). Strukture je hipidiomorfno zrnaste do porfiroidne. Sastoji se (M. Đ o r đ e v i ć) od kalijskog feldspata i kiselih plagioklasa (neka zrna feldspata su fenokristalna), kvarca, biotita? i piroksena? (bojeni sastojci su hloritisani i karbonitisani, a feldspati su sericitisani).

Granodioriti su najčešće plutonske stene. Izgrađuju centralne delove plitko otkrivenih plutona ili se javljaju kao »omotač« oko granitskog jezgra (često sve do kontakta).

Kuh-i-Mamzarski pluton je najvećim delom izgrađen od granodiorita. Ove stene su bliske granitu, takođe su hornblenda-biotitski varijetet, hipidiomorfno zrnaste strukture. Sastoje se od kiselih plagioklasa (albit, oligoklas, andezin), malo K-feldspata (ortoklas, mikroklin), kvarca i hloritisane i karbonitisane hornblende i biotita. Od akcesornih sastojaka zapaženi su: cirkon, sfen, apatit i rudni minerali.

Jezgro Deh Siahanskog plutona je delimično izgrađeno od granodiorita, a ono je vrlo slabo otkriveno. Granodiorit je biotit-hornblenda varijetet (M. Đ o r đ e v i ć), hipidiomorfno zrnaste strukture. Izgrađen je od kiselih feldspata (plagioklasi pretežno), kvarca, biotita i hornblende. Ove stene su pretrpele dejstvo pneumatolize te vrlo često sadrže igličasti turmalin i sekundarni kvarc. Hidrotermalne alteracije su mestimično prisutne. Feldspati su sericitisani, a bojeni sastojci hloritisani i karbonitisani, nekad i limonitisani.

Obodni deo Aliabadskog plutona je pretežno izgrađen od hornblenda-biotitskog granodiorita (S. D i v l j a n), hipidiomorfno zrnaste strukture. Izgrađen je od zonarnog plagioklasa (andezin 40—45% An), hornblende, biotita, kvarca i ortoklasa. Akcesorije su rudni minerali, apatit i cirkon.

Malo otkriven južni deo plutona Bag Khošk (Bāgh Khoshk) je takođe granodiorit, izgrađen od kvarca, plagioklasa i ortoklasa. Akcesorije su rudni minerali (halkopirit, pirit i halkozin) i apatit. Sekundarni minerali su sericit, hlorit i malahit.

Granodiorit porfiri su retke stene, nastale na obodnim delovima plutona. Od granodiorita ih razlikuje porfirska struktura. Ima ih na obodu Kuh-i-Mamzarskog plutona i na Kuh-i-Pandžu.

Severno od Pariza (sl. 4) nalazi se mala partija hidrotermalno promenjenog granodiorit porfira, koja predstavlja obodnu partiju kvarcdiorita. Stena je jako kataklazirana i po pukotinama limonitisana (površinska alteracija) i piritisana (sa malo halkopirita). Sastoji se od fenokristala albita zamućenih od argilizacije, retkih zrna K-feldspata i potpuno razorenog biotita (hloritisanog). Osnovna masa je od mikrolita plagiokalsa, kvarca, aktinolita (turmalina?), limonita i rudnog minerala.

Na severnom obodu istog plutona razvijen je granodiorit porfir na lokalnostima Sar Kuh i No Ću (Now Chun — u ovim stenama nalaze se impregnacije i žilice pirita i halkopirita). Ove stene su biotitski varijeteti porfirske strukture. Izgrađeni su od fenokristala plagioklasa, kvarca i biotita (sericitisani, argilisani i hloritisani). Osnovna masa je alotriomorfno zrnasta, izgrađena od plagioklasa, kvarca, K-feldspata i biotita. I osnova je takođe hidrotermalno izmenjena. Akcesorije su rudni minerali i cirkon.

Na Kuh-i-Pandžu starije dacito-andezite probija mali pluton granodiorit porfirskog sastava (sl. 8), biotitski varijetet. Stena je porfirske strukture (makroskopski zrnasta do porfiroidna — jasno se razlikuje od dacita) sa mikrozrnastom osnovom. Fenokristali su (S. Cvetić) plagioklas i biotit, a osnova je od plagioklasa, K-feldspata, kvarca i biotita. Akcesorije su rudni minerali (pirit, halkopirit). Stena je hidrotermalno izmenjena (sericitisana, argilizirana i hloritisana), ali znatno manje od okolnih dacita.

Tonaliti su vrlo retke stene, javljaju se kao obodni deo granodiorita ili centralni deo manjih plutona dioritskog i kvarcdioritskog sastava.

Centralni deo malog Darezarskog plutona delimično izgrađuje porfiroidni tonalit izgrađen od plagioklasa, kvarca i malo augita? sa obiljem rudnih minerala (pirit i halkopirit). Retki fenokristali plagioklasa su zonarni.

U centralnom delu plutona Bag Khošk ima biotitskog tonalita, hipidiomorfno zrnaste strukture. Sastoji se od plagioklasa, kvarca i biotita, a akcesorije su sfen, apatit, cirkon i rudni minerali (halkopirit i pirit).

Mali pluton pod Kuh-i-Pandžom je tonalit porfiroidne strukture (M. Pazirandeh). Sastoji se od vrlo retkih fenokristala plagioklasa u sitnozrnoj osnovi izgrađenoj od plagioklasa i kvarca.

Grupa monconita

Ovu grupu plutonskih stena čine *kvarcmonconiti, kvarcmonconit porfiri, monconiti* i *monconit porfiri.*

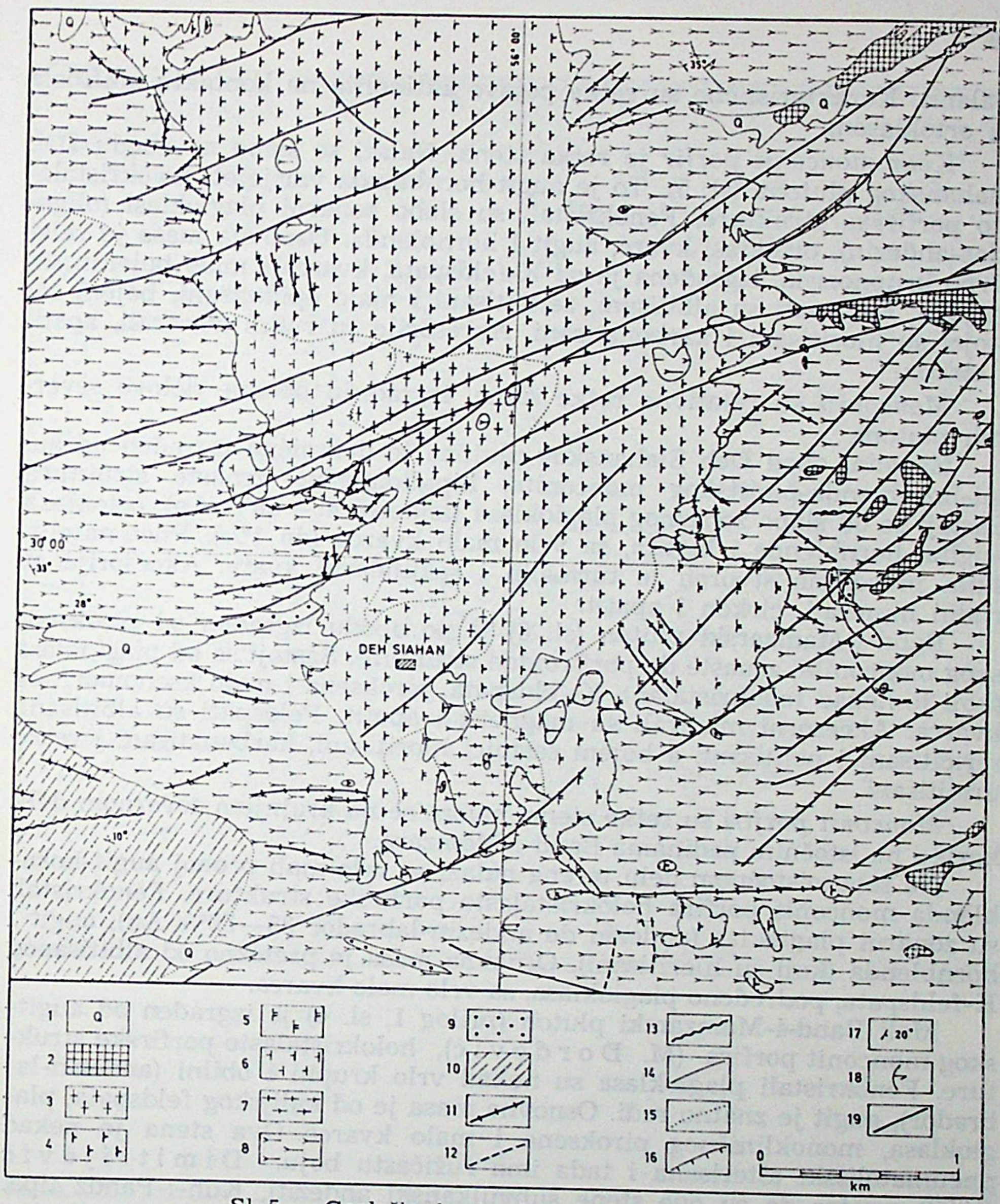
Kvarcmonconiti su razvijeni na severnom i južnom delu terena, smenjujući kvarcdiorite.

Veliki Deh Siahanski pluton (sl. 5), uključujući i jugoistočni slabo raskriveni deo, najvećim delom izgrađen je od ovih stena.

Najčešće zastupljeni varijeteti su biotit-hornblenda kvarcmonconiti, nekad sa augitom, ređi su čisto augitski. Struktura je hipidiomorfno zrnasta. Sastoje se od kiselih plagioklasa (albit, oligoklas, andezin), ortoklasa (ružičast), kvarca, biotita, hornblende, ređe i augita. Akcesorni minerali su cirkon, apatit i rudni minerali. Karakteristično je vrlo često prisustvo turmalina, koji ukazuje na pneumatolitsku alteraciju. Hidrotermalne promene su sporadično jače izražene. Feldspati su sericitisani, nekad albitisani, a bojeni minerali hloritisani, ređe epidotisani. Ova magma je očigledno sadržavala veću količinu vode od ostalih.

Veći pluton pod Kuh-i-Pandžom (sl. 8) je izgrađen od hornblenda-augitskog kvarcmonconita, hipidiomorfno zrnaste strukture (S. Divljan). Sastoji se od zonarnog plagioklasa (andezin-labrador 40—50% An), K-feldspata, hornblende, augita, kvarca i malo biotita. Feldspati su malo sericitisani, hornblenda uralitisana, a augit sporadično karbonitisan. Akcesorije su rudni minerali, apatit i cirkon.

Pluton Aliabad je delimično po obodu izgrađen od hornblenda-biotitskog kvarcmonconita (prelaz ka granitu), hipidiomorfno zrnaste strukture. Sastoji se od zonarnog plagioklasa (andezin 35—40% An), ortoklasa, hornblende, biotita i kvarca. Akcesorije su rudni minerali, apatit, cirkon, sfen



Sl. 5 — Geološka karta okoline Deh Siahana.
1 — Kvartarni nanos; 2 — karbonatni slojevi; 3 — granodiorit; 4 — kvarcmonconit; 5 — kvarcmonconit porfir; 6 — monconit; 7 — kvarcdiorit; Mamzar subkompleks; 8 — trahiandeziti, andeziti i andezit bazalti; 9 — sedimenti; 10 — vulkaniti, piroklastiti i sedimenti; Dajkovi: 11 — apofize intruziva; 12 — eocenski vulkaniti; 13 — kvarcne žice; 14 — geološka granica; 15 — postepen prelaz; 16 — intruzija; 17 — pad; 18 — fotogeološki pad; 19 — rased.

Fig. 5 — Geological map of Deh Siahan area.
1 — Quaternary deposits; 2 — Calcareous beds; 3 — Granodiorite; 4 — Quartzmonzonite; 5 — Quartzmonzonite porphyry; 6 — Monzonite; 7 — Quartzdiorite; Mamzar subcomplex; 8 — Trachyandesite, andesite and andesite basalt, 9 — Sediments; 10 — Volcanites, pyroclastites and sediments; Dykes: 11 — Aphophyses intrusive rocks; 12 — Eocene volcanites; 13 — Quartz veins; 14 — Geologic boundary; 15 — Gradual transition; 16 — Intrusion; 17 — Dip; 18 — Dip (air photos); 19 — Fault.

i alanit. Karakteristične su retke pojave aktinolita na kontaktu amfibola sa ortoklasom.

Kvarcmonconit porfir je retka stena. Nalazi se samo na obodu Deh Siahanskog plutona (sl. 5). To je augit-hornblenda varijetet, holokristalasto porfirske strukture. Fenokristali su slabo zonarni plagioklasi (oligoklas-andezin), ortoklas, kvarc, augit i hornblenda. Osnovna masa je relativno krupnozrna, izgrađena je od K-feldspata, kvarca i malo bojenih sastojaka. Feldspati su albitisani, sericitisani i malo epidotisani, bojeni sastojci su hloritisani i karbonatisani. Akcesorije su rudni minerali, apatit i cirkon.

Monconiti su relativno retke stene, izgrađuju obodne delove severnih plutona.

Zapadni obod Deh Siahanskog plutona je delimično izgrađen od augit-hornblenda-biotitskog monconita, hipidiomorfno zrnaste strukture. Sastoji se od slabo zonarnog plagioklasa (andezin 45—50% An), ortoklasa, augita, hornblende i biotita, sa vrlo malo kvarca (do 1%). Pneumatolitskim procesima stvoren je turmalin i sekundarni kvarc. Akcesorije su rudni minerali, cirkon i apatit.

Band-i-Mamzarski pluton (sl. 6) je po obodu izgrađen od piroksenskog monconita, zrnaste do porfiroidne strukture. Sastoji se od plagioklasa (koji je nekad fenokristalan), K-feldspata, piroksena i malo ksenomorfnog kvarca. Akcesorni minerali su magnetit i apatit. Feldspati su albitisani, sericitisani i pelitisani, a bojeni sastojci hloritisani, karbonatisani i retko uralitisani.

Monconit porfiri su retke stene, nalaze se na krajnjem severnom delu karte i na istočnim padinama Band-i-Mamzara.

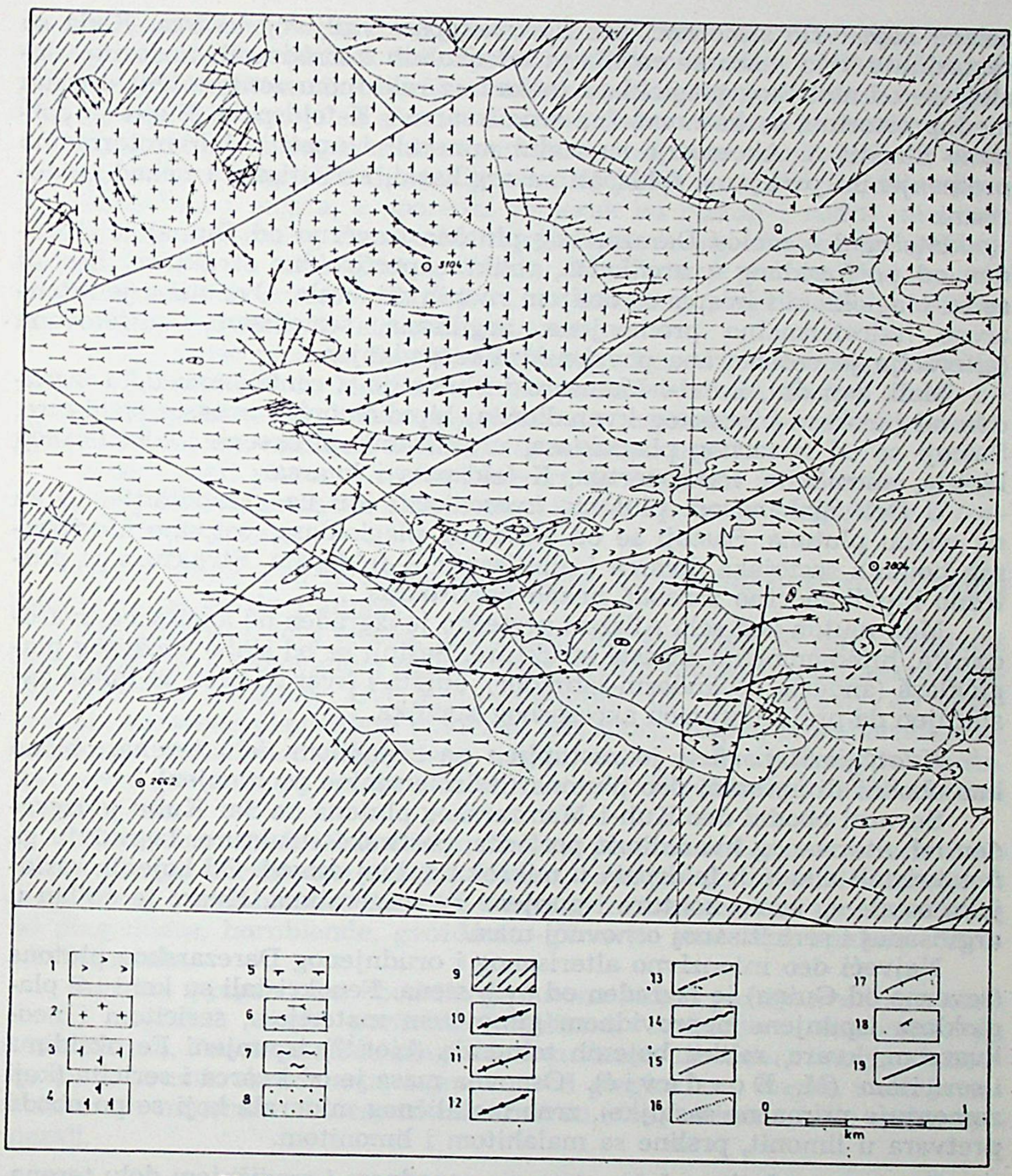
Na severoistočnom delu terena nalazi se vrlo mali proboj augit-hornblenda monconit porfira holokristalasto porfirske strukture. Fenokristali su zonarni plagioklas (andezin do andezin-labrador 35—50% An), augit i hornblenda (koji su hloritisani). Osnovna masa je pretežno od albitisanog K-feldspata, podređeno plagioklasa, sa vrlo malo kvarca.

Mali Band-i-Mamzarski pluton (prilog 1, sl. 4) je izgrađen od augitskog monconit porfira (M. Đ o r đ e v i ć), holokristalasto porfirske strukture. Fenokristali plagioklasa su nekad vrlo krupni i obilni (andezin-labrador), augit je znatno ređi. Osnovna masa je od kalijskog feldspata, plagioklasa, monokliničnog piroksena i malo kvarca. Ova stena je nekad pneumatolitski alterisana i tada ima ružičastu boju. D i m i t r i j e v i ć (1973) smatra da su ove stene subvulkanski andeziti, Kuh-i-Pandž tipa. Ovaj monconit porfir i makroskopski se dobro razlikuje od dacito-andezita. Kuh-i-Pandž tipa.

Grupa diorita

U ovu grupu stena dolaze *kvarcdioriti, kvarcdiorit porfiriti, dioriti* i *diorit porfiriti.*

Kvarcdioriti su znatno rasprostranjene stene. Glavno razviće je na zapadnom delu Kuh-i-Mamzarskog plutona, gde zamenjuju granodiorite (prilog 1). Obodni delovi ovih stena su često hidrotermalno alterisani, a nekad i mineralizovani (pirit, retko halkopirit). Ove stene su vrlo često



Sl. 6 — Geološka karta terena Band-i-Mamzar.

1 — riolit porfir; 2 — granit; 3 — monconit; 4 — monconit porfir; 5 — diorit; Mamzar subkompleks; 6 — andeziti i andezit bazalti; 7 — trahiti, 8 — sedimenti; 9 — vulkaniti, piroklastiti i sedimenti; Dajkovi: 10 — riolit porfiri, 11 — apofize intruziva; 12 — lamprofiri; 13 — eocenski vulkaniti; 14 — kvarcne žice; 15 — geološka granica; 16 — postepen prelaz; 17 — intruzija; 18 — pad; 19 — rased.

Fig. 6 — Geological map of Band-e-Mamzar area.

1 — Rhyolite porphyry; 2 — Granite; 3 — Monzonite; 4 — Monzonite porphyry; 5 — Diorite; Mamzar subcomplex; 6 — Andesite and andesite basalt; 7 — Trachyte; 8 — Sediments; 9 — Volcanites, pyroclastites and sediments; Dykes: 19 — Rhyolite porphyry; 11 — Apophyses intrusive rocks; 12 — Lamprophyres; 13 — Eocene volcanites; 14 — Quartz veins; 15 — Geologic boundary; 16 — Gradual transition; 17 — Intrusion; 18 — Dip; 19 — Fault.

zelene boje, vrlo sitnozrne, bez makroskopski vidljivog kvarca. Kada su raspadnute vrlo teško se razlikuju od okolnih kornitisanih andezita. Sastoje se od albitskog plagioklasa (nekad sa reliktnom zonarnošću) u čijim međuprostorima su ksenomorfna zrna kvarca i K-feldspata. Biotit je potpuno hloritisan. Akcesorije su rudni minerali i apatit. U hidrotermalno promenjenim partijama feldspati su argilisani, sericitisani i nekad epidotisani.

Istočni deo malog Darezarskog plutona (severno od Guina) je izgrađen od porfiroidnog kvarcdiorita, reliktne porfiroidne strukture. Sastoji se od plagioklasa i kvarca sa obiljem rudnih minerala. Ova stena je intenzivno hidrotermalno promenjena, argilisana, sericitisana i silifikovana (alteracija je potencirana površinskim raspadanjem).

Mali, zapadni, Band-i-Mamzarski pluton je u centralnom delu izgrađen od piroksen-biotitskog kvarcdiorita, hipidiomorfno zrnaste strukture. Sastoji se od zonarnog plagioklasa, uralitisanih piroksena i hloritisanog biotita, mirmekita, mikropertita, K-feldspata i kvarca.

U Deh Siahanskom plutonu, kvarcdioriti idu uz granodiorite, ili su na obodu plutona. Sastoji se od albitskog plagioklasa, potpuno hloritisanih bojenih sastojaka, kvarca i albitisanih K-feldspata. Struktura je pretežno hipidiomorfno zrnasta, nekad porfiroidna.

Mali pluton kod sela Aliabad pretežno je izgrađen od augitskog kvarcdiorita, hipidiomorfno zrnaste strukture. Sastoji se od slabo zonarnog plagioklasa (andezin do andezin-labrador), augita i kvarca. Sfen je toliko zastupljen da prelazi granicu akcesornog sastojka.

Kvarcdiorit porfirit je zastupljen na zapadnom delu terena, obično kao obodni ili apikalni deo plutona (hidrotermalno promenjen).

Severni obodni deo Kuh-i-Mamzarskog plutona na Sar Kuhu je izgrađen od alterisanog kvarcdiorit porfirita, porfirske strukture. Izgrađuju ga fenokristali alkalnih feldspata u mikrokristalnoj osnovi. Od bojenih sastojaka ostale su samo konture ispunjene Fe mineralima. Kvarc je obilan u argilisanoj i sericitisanoj osnovnoj masi.

Najveći deo intenzivno alterisanog i orudnjenog Darezarskog plutona (severno od Guina) je izgrađen od ovih stena. Fenokristali su konture plagioklasa ispunjene neprovidnom glinovitom materijom, sericitom i neokvarcom, kvarc, relikti bojenih minerala (biotit?) ispunjeni Fe oksidima i sericitom (M. Đ o r đ e v i ć). Osnovna masa je od kvarca i sericita (koji zamenjuje primarne sastojke), zrna metaličnog minerala koji se po obodu pretvara u limonit, prsline sa malahitom i limonitom.

Dioriti su relativno česte stene na zapadnom i središnjem delu terena. Izgrađuje obodne delove velikih plutona.

U okolini Pariza ove stene su najviše zastupljene. Predstavljaju obodnu faciju kvarcdiorita i granodiorita. Dioriti se nekad makroskopski teško razlikuju od okolnih kornita. Ovde je razvijen augit-hornblenda dionit, hipidiomorfno zrnaste strukture. Sastoji se od veoma zonarnih plagioklasa (andezin, labrador), augita, hornblende i vrlo malo biotita. Akcesorije su sfen, apatit i rudni minerali.

Južni obod Kuh-i-Mamzarskog plutona je delimično izgrađen od diorita, tamne partije ove stene makroskopski liče na kornit. Stena je veoma izmenjena, zrnaste strukture, sastoji se od razorenih plagioklasa, piroksena i amfibola. Akcesorni su sfen, turmalin, cirkon i rudni minerali.

Na zapadnom obodu istog plutona je izdvojena partija belih, veoma izmenjenih diorita (silifikovan, epidotisan i karbonatisan). Sastoji se od plagioklasa, uralitisanih bojenih sastojaka, sekundarnog kvarca u šupljinama stene. Akcesorije su sfen, leukoksen, cirkon i rudni minerali.

Na severozapadnom kontaktu, partija tamnih skoro crnih (sličnih okolnim kornitima) augitskih diorita je obodna facija kvarcdiorita. Sastoji se od plagioklasa i augita, a sporedni minerali su cirkon i rudni minerali.

Obodni deo malog Band-i-Mamzarskog plutona i okolni mali proboji (prilog 1, sl. 4) su od augitskog diorita. Struktura je prizmatično zrnasta ka hipidiomorfno zrnastoj. Sastoji se od zonarnog plagioklasa i uralitisanog augita, vrlo malo K-feldspata i kvarca.

Apikalni deo plutona Bag Khošk je izgrađen od piroksen-amfibolskog diorita, prizmatične do hipidiomorfno zrnaste strukture. Sastoji se od zonarnog plagioklasa, uralitisanog piroksena i zeolitisane hornblende, retko biotita. Akcesorni minerali su magnetit, apatit i ortit.

Istočni obod plutona Aliabad (severnog) izgrađen je od male partije augitskog diorita, prelaz u gabrodiorit. Sadrži razorene plagioklase i monoklinične piroksene.

Diorit porfiriti su relativno česte stene, ali se uvek javljaju u malim partijama po obodu plutona.

Na zapadnom delu terena, oko Pariza (sl. 4), nalazi se zeleni augitski diorit porfirit u izolovanim, malim, intruzivnim telima jasne (makroskopski) porfirske strukture. Ove stene se sastoje (S. Divljan) od fenokristala zonarnog plagioklasa (andezin, labrador), augita, ređe hornblende, a osnovna masa je od plagioklasa, augita, retko malo alkalnog feldspata. Akcesorni minerali su apatit i rudni minerali. Struktura je holokristalasto porfirska.

Na južnom obodu Kuh-i-Mamzarskog plutona izdvojena je relativno velika partija hornblenda diorit porfirita. Sadrži fenokristale zonarnih plagioklasa i hornblende. Osnovna masa je mikrokristalasta, mikroliti su od plagioklasa, hornblende, gvoždevito-glinovite materije, epidota i rudnih minerala.

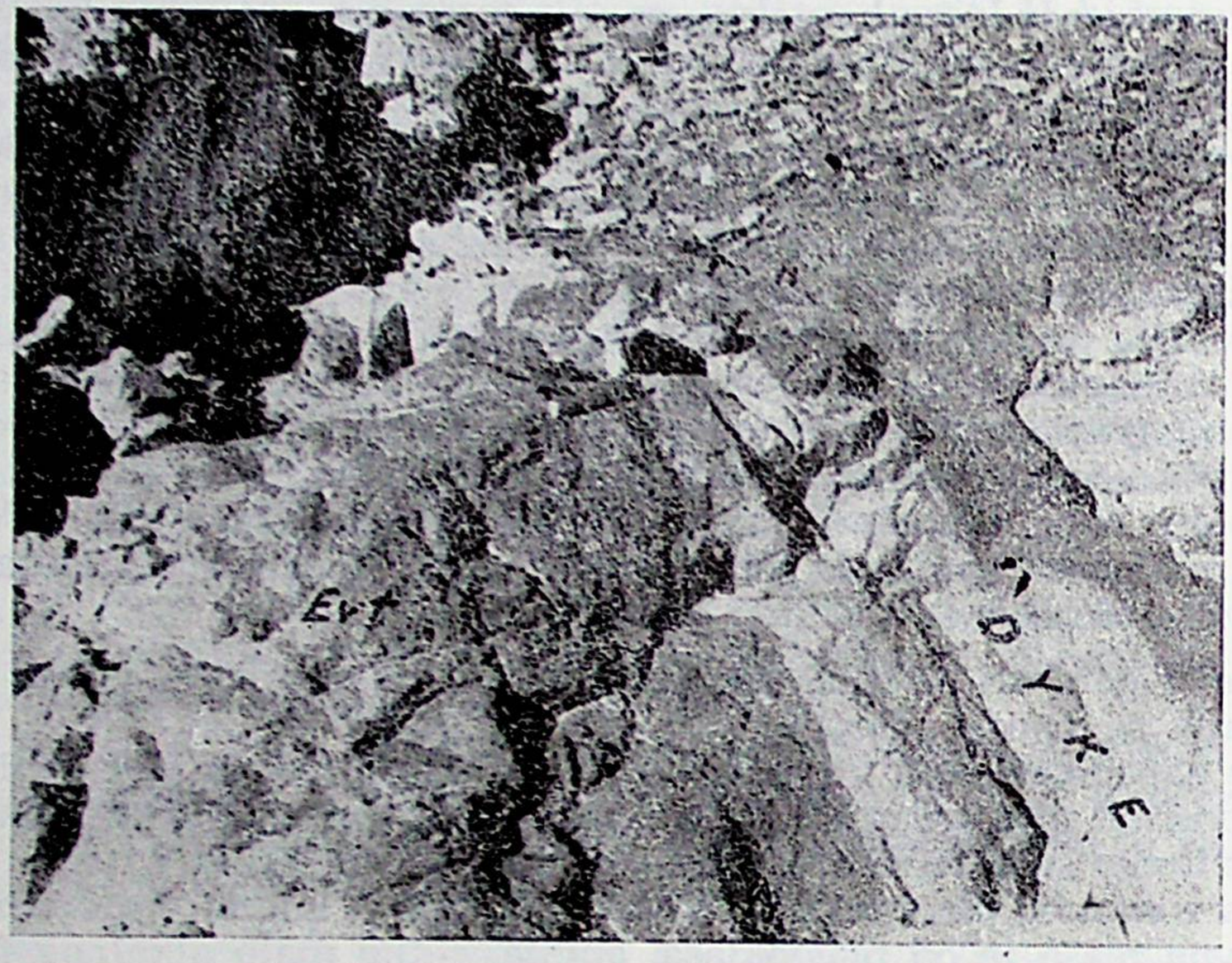
Zapadni i jugoistočni obod istog plutona sadrži partije svetlih, alterisanih, augitskih diorit porfirita (argilisani, sericitisani, karbonatisani i hloritisani). Fenokristali su plagioklasi (andezin, labrador) i augit. Osnovna masa je mikrokristalasta, izgrađena od plagioklasa, augita i obilja sekundarnih minerala. Akcesorni minerali su sfen, cirkon i ređe rudni minerali.

Žične stene

Zastupljene su sve vrste žinih plutonskih stena: *ašistne* i *diašistne*.

Ašistne žične stene su istog mineraloškog sastava i strukture kao matične plutonske stene, to su apofize plutona. Ovi dajkovi su najčešće utisnuti u okolne stene vulkanogeno-sedimentnog kompleksa, kao direktno produženje intruziva; magma je prilikom utiskivanja koristila postojeće pukotine. Veliki plutoni, kao Deh Siahanski (sl. 5) i Kuh-i-Mamzarski (sl. 4) su se postepeno hladili, u »slojevima«, a obodni već konsolidovani delovi su pucali (kontrakcija pri hlađenju) i u pukotine se utiskivale žične stene (uključujući i diašistne).

Ovi dajkovi su najčešće nešto bazičnijeg sastava od matičnog intruziva, porfirske strukture: diorit porfiriti, kvarcdiorit porfiriti i dijabaz porfiriti. Ukoliko je matični pluton monconitskog karaktera (sl. 7), slični su i dajkovi: kvarcmonconit porfiri i monconit porfiri. Dajkovi granitskog



Sl. 7 — Apofiza (dajk) kvarcmonconita u eocenskim andezitima.

Fig. 7 — An apophysis (dyke) quartzmonzonite in eocene andesites.

sastava su retki (granit porfiri), češći su granodiorit porfiri. Dajkovi zrnaste strukture su relativno retki, obično su to direktne apofize u okolne stene, obično sitnozrni dioriti, sijeniti, kvarcdioriti, kvarcmonconiti, granodioriti.

Diašistne žične stene su produkti višeg stepena diferencijacije magme, imaju promenjeni mineraloški sastav od matične stene. To su apliti i lamprofiri.

Apliti su kiselijeg sastava od matične plutonske stene. Vrlo retko ih nalazimo kao bele sitnozrne žice centimetarske debljine u granitima, granodioritima i kvarcmonconitima. Sastoje se od kvarca, ortoklasa, oligoklasa (20—25% An) i sasvim podređeno biotita. Akcesorije su rudni minerali, hornblenda, cirkon i apatit. Struktura je alotriomorfno zrnasta.

Lamprofiri su bazični žični diferencijati. Javljaju se kao dajkovi u plutonima na središnjem i zapadnom delu terena (sl. 6 i 4). Dajkovi su obično male debljine (najčešće do 1 metar), tamnosive ili zelenkaste boje, sitnozrnog do afanitskog habitusa. Redovno su izmenjeni hidrotermalnim agensima; bojeni sastojci su najčešće potpuno razoreni, te je mikroskopska determinacija veoma otežana.

Sastav lamprofira na Band-i-Mamzaru je sledeći: mikrofenokristali i mikroliti albitisanog plagioklasa, hlorit i karbonati nastali alteracijom monokliničnog piroksena. Struktura je afirska.

Lamprofiri Kuh-i-Mamzarskog plutona su porfirske i zrnaste strukture. Sastav porfirskih lamprofira je sledeći: fenokristali su potpuno sericitisani plagioklas, potpuno hloritisani i karbonatisani bojeni sastojci (augit? hornblenda? biotit?). Osnovna masa je relativno krupnozrna, intenzivno sericitisana i karbonatisana, sa sekundarnim kvarcom. Interesantan je slučaj kod Pariza da je dajk lamprofira utisnut u debeli dajk (oko 10 metara) biotitskog kvarcdiorita.

Zrnasti lamprofiri određeni su kao *spesartiti* (S. C v e t i ć). Sastojci su od sitnih zrna hornblende i plagioklasa (hloritisani, karbonatisani i epidotisani) uz obilje rudnih minerala.

Efuzivne stene

U ovu grupu stena uvrštene su mlađe, posteocenske, vulkanske stene: *dacito-andeziti, riolit porfiri* i *trahiti.* Egzogene sile su duboko razorile centre subaerske vulkanske delatnosti, tako da se sem Kuh-i-Pandža ne mogu zapaziti vulkanski oblici. Otknivene stene ove grupe najčešće su stvarane u vrlo plitkom subvulkanskom nivou (nekovi i dajkovi), zato ih vrlo retko prate tufovi.

Dacito-andeziti

Ovi vulkaniti su najčešće efuzivne stene na terenu. Izgrađuju duboko razoreni vulkan Kuh-i-Pandž, a na zapadu je nek Kuh-i-Gul. Mnogobrojni dajkovi i subvulkanski štokovi su česti na Band-i-Mamzaru.

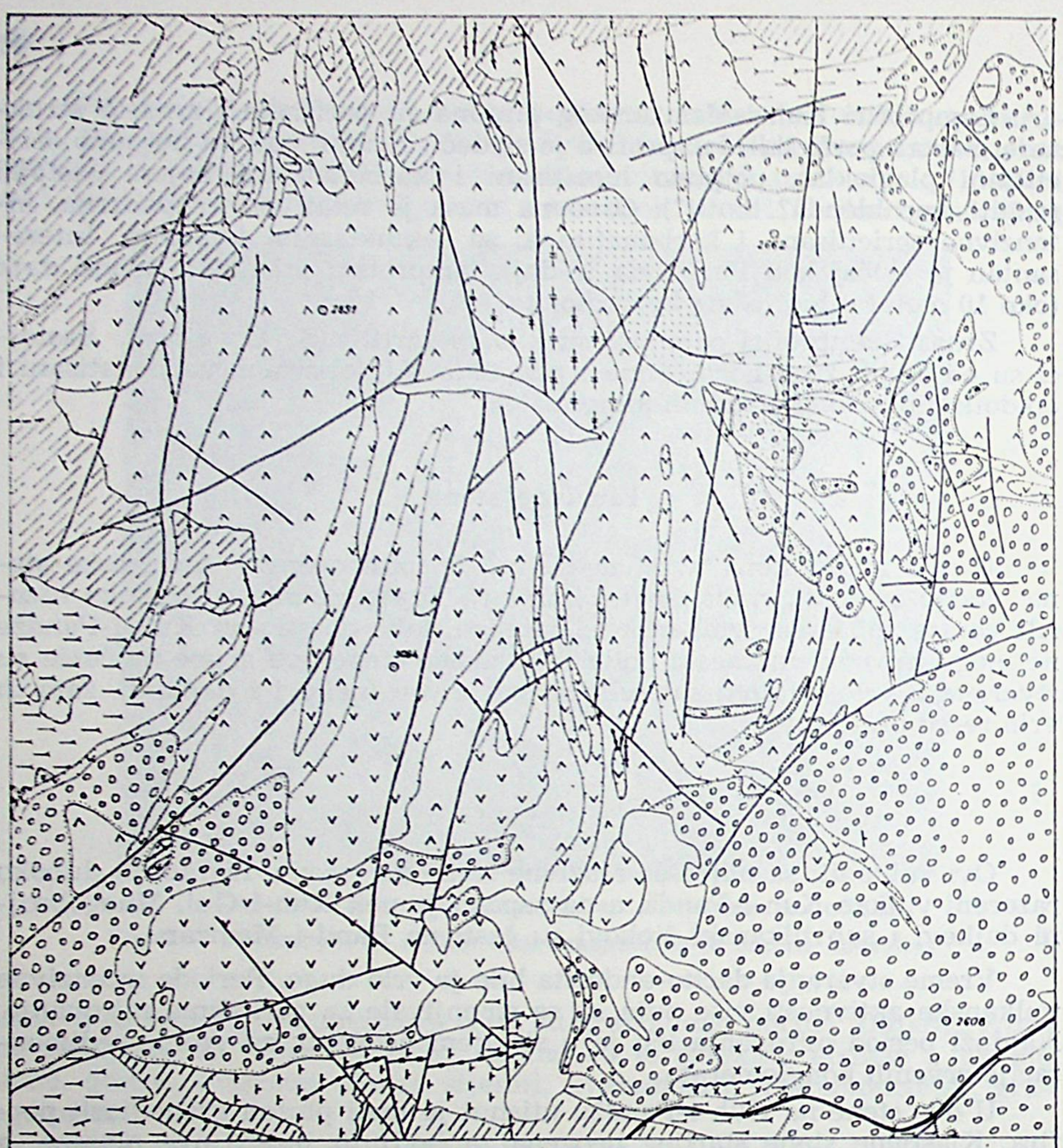
Vreme stvaranja dacito-andezita bilo je vrlo dugo. Periode intenzivne vulkanske aktivnosti više puta su se smenjivale sa periodima mirovanja. Najduži period mirovanja bio je u starijem neogenu, za vreme sedimentacije crvenih konglomerata.

U ove stene na Kuh-i-Pandžu utisnut je mali pluton granodiorit porfira. Klastične stene starijeg neogena zaplavljuju jezgro ove planine, a pojedini štokovi i debeli dajkovi ih probijaju. Na osnovu ovih zapažanja dacito-andeziti su podeljeni na *starije* i *mlađe.*

Stariji dacito-andeziti su izdvojeni samo na Kuh-i-Pandžu. Ova planina je duboko razoreni strato vulkan čija se vulkanska aktivnost odvijala u vrlo dugom geološkom vremenu, od oligocena do mlađeg neogena (sl. 8).

Po M. D. D i m i t r i j e v i ć u (1973) ove stene pripadaju Kuh-i--Pandž tipu (Kuh-e-Panj type) subvulkanskih stena, koje su iste starosti kao i plutonske stene Džebal Barez tipa.

Daciti preovlađuju nad dacitoidima (kvarcandezitima), a andeziti su relativno ređe stene. Makroskopski se mogu odvajati samo oni varijeteti kod kojih se zapaža fenokristalan bipiramidalan kvarc. Kontaktni oreol oko plutona je intenzivno hidrotermalno alterisan, stene su najčešće pretvorene u belu afanitsku masu, nekad prošaranu tankim kvarcnim žicama. Zapaženo je prisustvo *dacitskih tufova,* intenzivno alterisanih, što svedoči o vulkanskoj delatnosti.



Sl. 8 — Geološka karta terena Kuh-i-Pandž po V. Omaljevu.
1 — mlađi dacito-andeziti; 2 — dacitsko-andezitski aglomerati i tufovi; 3 — crveni konglomerati i peščari; 4 — granodiorit porfir; 5 — tonalit; 6 — kvarcmonconit; 7 — stariji dacito-andeziti; 8 — stariji dacito-andezitski tufovi; Mamzar subkompleks: 9 — Trahiandeziti i andeziti; 10 — andeziti i andezit bazalti; 11 — vulkaniti i piroklastiti; Dajkovi: 12 — dacito-andeziti; 13 — riolit porfir; 14 — eocenski andeziti; 15 — kvarcna žica; 16 — geološka granica; 17 — intruzija; 18 — pad; 19 — rased.

Fig. 8 — Geological map of Kuh-e-Panj area by V. Omaljev.

1 — Younger dacite and andesite; 2 — Dacitic and andesitic agglomerates and tuffs; 3 — Red conglomerates and sandstones; 4 — granodiorite porphyry; 5 — Tonalite; 6 — Quartzmonzonite; 7 — Older dacites and andesites; 8 — Older dacitic and andesitic tuffs; Mamzar subkompelx: 9 — Trachyandesite and andesite, 10 — Andesite and andesite basalt, 11 — Volcanites and pyroclastics; Dykes: 12 — Dacite and andesite, 13 — Rhyolite porphyry, 14 — Eocene andesite; 15 — Quartz vein; 16 — Geologic boundary; 17 — Intrusion; 18 — Dip; 19 — Fault.

Stariji dacito-andeziti probijaju stene gornjoeocenske starosti, a probijene su plutonskim stenama i zaplavljene psefitima starijeg neogena (srednji miocen). Najverovatnije vreme stvaranja je oligocensko do oligomiocensko.

Osnovni varijetet stene je hornblenda-biotitski dacit ili dacitoid, alterisan. Sastoji se od krupnih fenokristala zonarnog andezina (S. Divljan), hornblende i biotita, podređeno resorbovanog kvarca. Osnovna masa je mikrokristalasta, intenzivno sericitisana i silifikovana. Nekad je izražena fluidalna tekstura tečenja. Akcesorije su rudni minerali, malo apatita, cirkona, rutila i sfena. Struktura je holokristalasto porfirska.

Mlađi dacito-andeziti probijaju starije. Takođe probijaju stene starijeg neogena, a delimično neke apofize probijaju i stene mlađeg neogena. Na Band-i-Mamzaru probijaju plutonske stene. Javljaju se kao slivovi i nekovi, subvulkanski štokovi i dajkovi.

Mlađi dacito-andeziti odgovaraju Dimitrijevićevom Dehadž tipu (Dehaj type) dacito-andezitskih stena, pliocenske starosti.

Stvaranje ovih stena takođe je bilo višefazno, ali se pojedine faze ne mogu odvojiti bez detaljnog proučavanja mlađeneogenih naslaga dacitskih aglomerata i tufova, jugozapadno od Kuh-i-Pandža prema Sirdžanu.

Prema raspoloživim podacima, glavno stvaranje mlađih dacito-andezita bilo je za vreme mlađeg neogena. Smenjivale su se faze eruptivne delatnosti i faze relativnog mirovanja (koje su bile relativno kratke). Poslednja, najmlađa faza dala je uglavnom dajkove (sam petozubi vrh). Vreme stvaranja je najverovatnije pliocen.

Mlado neogeni vulkan Kuh-i-Pandž je takođe duboko razoren erozijom. Piroklastičan materijal je pretaložen pretežno u Sirdžansku depresiju, ostali su samo ogoljeni nekovi i dajkovi. Novi vulkan nije nastavio aktivnost kroz stari krater, već se formiralo više manjih, adventivnih kratera, istočni koji probija stariji neogen praćen je tufovima.

Materijalno, ove stene su identične sa starijim, razlika je u svežini sastojaka. Auto hidrotermalne alteracije sporadično prate veće nekove (centralni delovi), ali stene su uglavnom sveže. Sastoje se od svežih fenokristala feldspata, biotita (često vrlo krupnih) i hornblende u sitnozrnoj osnovi od istih minerala. Struktura je holokristalasto porfirska, tekstura nekad fluidalna, sa tragovima tečenja.

Mlađi dacitski tufovi su kristalo-litoklastični do litoklastični, ignimbritskog karaktera. Ovo ukazuje na snažne vulkanske erupcije, koje su pretežno davale piroklastičan materijal, a podređeno lavu. Piroklastiti i lava su erozijom razoreni i pretaloženi, ostali su samo ostaci na Kuh-i-Pandžu.

Na Band-i-Mamzaru su česti dajkovi i subvulkanski štokovi ovih stena. To su verovatno apofize vulkana iznad Sar Češmena.

Na Kuh-i-Gulu ova stena je biotitski andezit, prelaz ka dacitu. Izgrađen je od fenokristala svežih zonarnih plagioklasa (S. Cvetić) i biotita. Osnovna masa je kriptokristalasta, izgrađena od plagioklasa, kvarca i glinovito-gvožđevite materije. Akcesorni minerali su apatit i rudni minerali.

Riolit porfiri

Ove stene se nalaze zapadno od Kuh-i-Pandža (sl. 6). Javljaju se u relativno malim masama i dajkovima. Ne prate ih tufovi te je verovatni nivo stvaranja subvulkanski. Nije jasno da li se tu radi o korenima nekova ili su to subvulkanski štokovi.

Riolit porfiri su prljavobele, alterisane stene, afanitskog izgleda. Mikroskopski su određeni kao albitski riolit porfiri. Struktura je najčešće porfirska, ređe afirska, a osnovna masa uvek mikropojkilitska. Fenokristali su jako pelitisani.

Albitski riolit porfiri su (M. Đ o r đ e v i ć) u stavri beli felzit porfiri u kojima se kvarc nalazi samo u osnovnoj masi kao mikropojkilitski agregat koji zaklapa mikrolite albita. Kao fenokristali u njemu se nalaze albit, vrlo retko albiklas i mestimično po neko zrno hornblende i biotita. U osnovnoj masi, pored albita i kvarca, ima i alkalnog feldspata koji kao i kvarc mikropojkilitski zaklapa albit. Akcesorije su magnetit, apatit i cirkon, a sekundarni minerali su sericit, hlorit, oksidi gvožđa, karbonat, rutil, neoapatit i leukoksen.

Ove stene kristalisale su vrlo plitko u visokom subvulkanskom nivou. U intrudovani magmatski rastop od retkih fenokristala i stakla koji je svakako još bio mobilan, u prisustvu vode došlo je do zamenjivanja stakla kvarcom i alkalnim feldspatom.

Trahiti i tufovi

Ovi trahiti su makroskopski slični sa riolit porfirima, to je bela alterisana stena, afanitskog habitusa. Javlja se zajedno sa tufovima kod sela Ge Didž (Geh Dij). Veći intruziv je verovatno razoreni nek (prilog 1).

Neogeni trahit je određen kao albitski fenotrahit, reliktne hipokristalasto porfirske strukture (M. Đ o r đ e v i ć). Sastoji se od fenokristala albita u osnovnoj masi od mikrolita albita, razorenih bojenih sastojaka i prekristalisalog stakla. Po prslinama je mnogo sekundarnog kvarca, kriptokristalaste silicije, sericita, karbonata, hlorita i limonitsko-hematitske materije.

Tufovi su veoma alterisani, izgrađeni su od kalcedona, opala, sitnozrnog (verovatno sekundarnog) kvarca, fino dispergovane glinovite supstance, malo neprovidnog minerala (ostaci Fe oksida), karbonata i sericita.

Neogen

Sedimenti neogene starosti izgrađuju obodne delove ispitivanog terena. Diskordantno leže preko starijih stena Razak kompleksa, plutonskih stena i starijih vulkanita. Predstavljeni su grubim klastitima, sa relativno tankim interkalacijama sitnozrnijih psefita i grubozrnih psamita i tufita. Normalno ne sadrže fosilne ostatke organizama.

Na osnovu materijalnog sastava, stepena dijageneze, korelacije sa sličnim tvorevinama i tektonske poremećenosti, ovi sedimenti su podeljeni na miocenske i pliocenske.

Miocen

Stene ove formacije su razvijene na južnim i istočnim padinama Kuh-i-Pandža. Predstavljene su crvenim dobro cementovanim konglomeratima i peščarima. Ovi sedimenti su taloženi u plitkom basenu koji je formiran jugoistočno od Kuh-i-Pandža. Diskordantno leže preko eocenskih tvorevina i starijih dacito-andezita i plutonskih stena.

Po M. D. Dimitrijeviću (1973) ovaj konglomeratski nivo je ekvivalentan po starosti bazalnom delu gornje crvene formacije (Upper Red Formation). Na osnovu ove korelacije starost bi bila srednje miocenska.

Slojevitost je mestimično dobro izražena, psefiti grade relativno debele slojeve, a psamitske interkalacije su manje debljine. Slojevi su nekad u subhorizontalnom položaju ili su blago nagnuti ka severu i severoistoku. U blizini proboja mlađih dacito-andezita, slojevi su strmije nagnuti (nekad preko 40°), to je svakako posledica vulkanske delatnosti.

Ovi sedimenti pretežno su izgrađeni od fragmenata eocenskih vulkanita i sedimenata. Fragmenti starijih dacita su znatno ređe zastupljeni. Sedimentacija je bila vrlo burna, stepen zaobljenosti fragmenata je nizak, materijal je vrlo slabo sortiran. Nekad se zapaža kosa slojevitost, karakteristična za bujične tokove koji su često menjali pravac tečenja. Pravac pada slojeva je verovatno delimično nasleđen, jer je depresija basena bila u pravcu severoistoka, tako da je priliv materijama bio pretežno sa juga, sa planina izgrađenih od stena vulkanogeno-sedimentnog kompleksa.

Najčešća stena je *tufitski brečokonglomerat* izgrađen pretežno od fragmenata andezita (uključujući i andezit bazalte), dacitoidnih i granitoidnih stena i kvarca. Cementna materija je tufitska.

Pliocen

Sedimenti mlađeg neogena su pretežno razvijeni u Sirdžanskom basenu, ređe na istočnom i severnom rubu karte. Glavno razviće ovih stena je u Sirdžanskom basenu, na istoku se nalaze uglavnom erozioni ostaci, a na severu karta zahvata samo malu partiju tufova.

Ove tvorevine su, po M. D. Dimitrijeviću, srednja jedinica (The middle unit) pliocenske starosti.

Ove stene predstavljaju pretaložene dacito-andezitske piroklastite i razorene lave istog sastava. To su pretežno *aglomerati* sa interkalacijama sitnozrnijih *tufita*.

Aglomerati su razvijeni u Sirdžanskom basenu. Sadrže obilje poluzaobljenih krupica i blokova (nekad većih od metra u prečniku) biotit-hornblenda dacito-andezita svih vrsta. Vezivo je bela tufitska materija. Karakteristično je izostajanje pretaloženog eocenskog materijala u donjem delu, a u povlatnom delu serije sve više je fragmenata eocenskih andezita. Paketi slojeva gde preovlađuju fragmenti eocenskih andezita stvarani su u fazi mirovanja vulkana Kuh-i-Pandž.

Sitnozrnije interkalacije su kristaloklastični *dacitski tuf*. Sastoji se od sitnih fragmenata kvarca, plagioklasa, biotita, hornblende i retko dacita. Cement je glinovito-gvožđevita materija i silicija.

Na padinama Kuh-i-Pandža izostaju grubozrni aglomerati. Preovlađuju pretaloženi dacitski tufovi sa relativno krupnim fragmentima dacito-andezita. Struktura je litoklastična do kristalovitroklastična. Ovi tufovi, u blizini nekova, često imaju *ignimbritski* karakter, što ukazuje na eksplozivni karakter erupcija sa pretežnim stvaranjem piroklastita. Sem fragmenata dacita, ređe eocenskih andezita, tufovi sadrže fragmente plagioklasa, kvarca, razorenih bojenih minerala. Cementna materija je lito do vitroklastična, u ignimbritskim tipovima sa tragovima fluidalnosti.

Na severu je zastupljen vitroklastični dacitski tuf, srodan ignimbritu, što ukazuje na eksplozivni karakter erupcija vulkana Bad-Bakht-Kuha (udaljenog oko 10 km — list 1:100.000 Rafsanjan I).

Kvartar

Kvartarne naslage su predstavljene *krečnjačkim slojevima, daštom* i *aluvijalnim nanosom.*

Krečnjački slojevi su postali u vezi sa mineralnim, karbonatnim izvorima, koji predstavljaju završnu fazu vulkanizma ove oblasti. Ove stene najčešće prate rasede, javljaju se kao naslage na padinama i platoima planina. Ukoliko su ove naslage veće debljine (više desetaka metara) često se javlja kao fino uslojen karbonatni (mermerni) oniks, koji je nekad predmet eksploatacije.

Deluvijalne i aluvijalne naslage dašta razvijene su na celom terenu, po dolinama većih reka i na većim zaravnima.

Stariji dašt je cementovan i uslojen padinski materijal. Obično je pokriven *mlađim daštom,* koji predstavlja nevezan materijal koji je recentno nataložen.

TEKTONIKA

Teren Pariz — Kuh-i-Pandž se nalazi u geotektonskoj jedinici (M. D. Dimitrijević, 1973) *Dehadž — Sarduje* (Dehaj — Sarduiyeh belt), koja zahvata najveći deo Kermanskog regiona, od Kuh-i-Madvara na severozapadu do Džebal Bareza na jugoistoku.

Dimitrijević smatra da je na ovom terenu razvijen kompletan nabor, sa antiklinalom na Band-i-Mamzaru i sinklinalom kod Deh Siahana. Pružanje nabora je dinarsko, tj. SZ—JI, a ose nabora tonu ka jugoistoku. Antiklinalu izgrađuju stene donjeg Razak subkompleksa, a sinklinalu srednjeg Razak subkompleksa.

Na ispitivanom terenu stene su nesumnjivo tektonski poremećene, razvijeni su naborni i frakturni tektonski oblici.

Osnovni naborni oblik nije jasan, jer stene od Kuh-i-Mamzara do Deh Siahana padaju regionalno ka severoistoku. Na osnovu ovakvog sklopa terena, nije verovatna egzistencija kompletnog regionalnog nabora. Sinklinala svakako postoji, ali znatno severnije, van ovoga terena.

Naborni oblici nižega reda su jasni samo u oblasti Pariza gde su u sedimentnom eocenu interstratifikovani slojevi krečnjaka. Razvijene su dve sinklinale sa antiklinalom. Krila ovih nabora su vrlo strma, što je karakteristično za uspravne nabore bliske izoklinim. Ose nabora su sub-

horizontalne, a pružanje je u pravcu 100°. Zapadno, nabori su razlomljeni rasedom i prestaju, a na istoku se produžavaju van kartiranog terena.

Na severu je razvijen mali nabor sa antiklinalom i sinklinalom. Krila su blago nagnuta i nabori su razvučeni u širinu. Ose nabora tonu ka jugoistoku.

Uslojenost u vulkanitima, a često i u piroklastitima, gornjeg eocena je najčešće slabo izražena. Zato se ovako mali nabori ne mogu zapaziti, ukoliko su razvijeni. Pojedina merenja elemenata pada ukazuju da je vulkanogeno-sedimentni kompleks ubran, verovatno u slične male nabore. Zapaža se generalni pad cele serije ka severoistoku, severu i istoku.

S obzirom na postojanje nabora nižega reda, možemo pretpostaviti postojanje složenog nabora, najverovatnije *sinklinorijuma,* severno od Kuh-i-Pandža.

Slojevi starijeg neogena su iskošeni eruptivnim delovanjem Kuh-i-Pandža i intruzija njegovih apofiza, što je konstatovano terenskim opažanjem.

Slojevi mlađeg neogena padaju ka centralnom delu Sirdžanskog basena, što je svakako posledica nagiba podloge, a ne tektonskih pokreta.

Razlomna tektonika je znatno zastupljena. Na kartiranoj površini nema velikih regionalnih raseda. Svi postojeći rasedi se vrlo slabo zapažaju na terenu, njih otkrivaju prateći fenomeni alteracije i erozija. Rasedne zone kao narušeni delovi terena najčešće su uslovili razvoj hidrografske mreže, koja modelira planinske grebene.

Rasedi su gravitacioni, sa često vrlo malim iznosom tektonskog pomeranja. Rasedi se fotogeološki mogu pratiti više kilometara, nekad preko cele karte. Rasedne površine su najčešće približno vertikalne, prateći manji rasedi takođe su vrlo strmi.

U odnosu na regionalno pružanje eocenske serije, severozapad — jugoistok, rasede možemo podeliti na tri sistema — grupe:

1. transverzalni rasedi
2. longitudinalni rasedi
3. dijagonalni rasedi.

Prvi sistem raseda je najčešće zastupljen. Ovi rasedi se mogu pratiti više kilometara. Pružanje je statistički upravno na pružanje serije, SI—JZ, sa povijanjem ka pravcu istok — zapad, nekad ka pravcu sever — jug. Transverzalni rasedi su često vrlo duboki, sile koje su dejstvovale bile su češće tenzionog, a ređe kompresionog dejstva.

Drugi sistem, longitudinalnih, *raseda* je podređeno zastupljen. I ovi rasedi se na karti mogu pratiti više kilometara. Pravac pružanja je približno paralelan osama nabora, tj. severozapad — jugoistok, sa povijanjem ka pravcu istok — zapad. Sile koje su dejstvovale uslovile su ubiranje i uzdužno pucanje. Ove sile bile su prvenstveno kompresione, te ovi rasedi i pored velike dubine razlamanja, nisu bili pogodni za cirkulaciju rastvora iz dubine.

Treći sistem, dijagonalnih, *raseda* je u vezi sa prva dva. Ovi rasedi se najčešće perasto odvajaju od velikih raseda. Pucanje po dijagonalnim ravnima elipsoida deformacija je relativno često, ali po dužini ograničeno. Rasedi i pukotine ovoga sistema su često zjapeći, te su pogodni kao putevi cirkulacije hidrotermi i vadoznih voda.

Naborni i rasedni tektonski oblici postali su radom istih sila. Vreme stvaranja verovatno je oligomiocensko. Ove tektonske sile bile su uzrok magmatskih pokreta koji su doveli do velikih plutonskih intruzija. Duboki razlomi omogućili su prodor lave do površine. Magma je koristila razlome sva tri sistema za intruzije apofiza. Za vreme mlađeg neogena tektonske sile bile su u fazi smirivanja.

ZAKLJUČAK

Istraživani teren se nalazi u središnjem delu Kermanskog bakronosnog regiona u centralnom delu Irana, između Sirdžana i Rafsandžana. Jedino veće naselje na terenu je varošica Pariz.

Geološku osnovu terena čine stene vulkanogeno-sedimentnog kompleksa, eocenske starosti. Mnogobrojne plutonske i subvulkanske intruzije, dajkovi i nekovi efuzivnih stena, probijaju ovu formaciju. Najmlađe tvorevine neogene i kvartarne starosti, po obodu terena zaplavljuju starije stene.

Na osnovu litološke korelacije, stene ove serije pripadaju Razak kompleksu, koji regionalno konkordantno leži preko sedimentnog kompleksa srednje eocenske starosti. Starost ovih stena je verovatno srednje do gornje eocenska. Regionalno, Razak kompleks je podeljen na tri dela, od kojih su donji i srednji razvijeni na ovom terenu.

Najveći deo površine terena izgrađuju stene donjeg Razak subkompleksa, koji nazivamo Mamzar subkompleks. Debljina ove serije je nepoznata, a svakako iznosi više hiljada metara. Izdvojeni su vulkaniti i sedimenti, a u slučaju da je izdvajanje onemogućeno, na prilogu 1, predstavljen je kao Mamzar subkompleks. U starijem delu ovog subkompleksa andeziti su bazičniji, a u višim nivoima neki andeziti predstavljaju prelaz prema trahitima.

Tvorevine srednjeg Razak subkompleksa razvijene su na zapadnom delu terena, leže verovatno diskordantno preko stena Mamzar subkompleksa. Litološki, ove tvorevine izgrađuju vulkaniti i sedimenti. Vulkaniti su slični sa onima iz donjeg dela Mamzar subkompleksa. Sedimenti sadrže interkalacije krečnjaka.

Plutoniti su diskordantno utisnuti u stene Razak kompleksa i starije dacito-andezite. Vreme intruzije je verovatno oligocen-donji miocen jer su plutoniti zaplavljeni tvorevinama srednjeg miocena. Verovatno je u dubini utisnut batolit granitskog sastava, čije su kupole erozijom ogoljene. Zastupljene su sve vrste plutonskih stena kiselog i intermedijarnog sastava. Granodioriti su najzastupljeniji. Takođe su zastupljene i sve vrste žičnih plutonskih stena, ašistne i diašistne.

Od posteocenskih efuzivnih stena najčešći su dacito-andeziti, stariji su tipa Kuh-i-Pandž oligocene starosti, a mlađi su Dehadž tip pliocene starosti. Ređe su zastupljeni riolit porfiri i trahiti.

Od neogenih tvorevina zastupljeni su crveni konglomerati srednje miocenske starosti i pretaloženi piroklastiti dacito-andezitskog sastava pliocenske starosti.

Stene Mamzar subkompleksa regionalno padaju ka severoistoku, retko se zapažaju nabori nižega reda. Stene srednjeg Razak subkompleksa padaju ka jugozapadu i severozapadu, zapaženi su nabori nižega reda.

Rasedi se na terenu zapažaju na osnovu pratećih fenomena alteracije. Mogu se fotogeološki pratiti više desetaka kilometara.

(Predato za štampu 10. oktobra 1974. g.)

LITERATURA

1. Bazin et Hübner H., 1969: — La région cuprifère à gisements porphyriques de Kerman (Iran). Geological survey of Iran. Mineral. Deposita, Vol. 4, pp. 200—212. Teheran.
2. Dimitrijević M. D., 1973: — Geology of Kerman Region. Geological survey of Iran and Institute for Geological and Mining Exploration and Investigation of Nuclear and Other Mineral Raw Materials — Beograd. Teheran.
3. Halaviaty J., 1974- — Principal Metallogenic Features of Kerman Cooper Region in Iran. Fond Katedre Ekonomske geologije Rudarsko-geološko-metalurškog fakulteta u Beogradu.
4. Omaljev V., 1972: — Report on the Geological Mapping of Pariz — Kuh-e-Panj Area in 1 : 20.000 (Report 37/YU). Fond stručne dokumentacije Geoinstituta i fond Geological Survey of Iran. Teheran.

Summary

VELJKO OMALJEV[1]

GEOLOGICAL AND PETROLOGICAL FEATURES OF PARIZ — KUH-E-PANJ AREA — IRAN

This paper comprises geological data collected durign preparation of the Pariz — Kuh-e-Panj geological map in the scale 1:20.000, in the Kerman region, Iran. The map covers more than 600 km² of this area.

The area under exploration is situated in the central part of the Kerman copper bearing region, that was investigated by Institute for Geological and Mining Exploration and Investigation of Nuclear and other Mineral Raw Materials — Beograd. The area is between the towns Sirjan and Rafsanjan, and the only important settlement in this area is Pariz (Fig. 1).

The area features mountainous topography. To the west is (encl. 1) Kuh-e-Mamzar (3.308 m), in the central part Band-e-Mamzar (3.234 m), to the east is Kuh-e-Panj (3.094 m) and in the north Deh Siahan mountains (2.809 m).

The area is composed of volcanic — sedimentary complex of Eocene age. Older rocks, base of this formation, do not crop out in this area. Numerous plutonic and subvolcanic intrusions, dykes and necks of volcanic rocks, intrude this formation almost over the whole mapped area. Youngest rocks, of Neogene and Quaternary age, are situated along the rims of this area.

[1] Institute for geological and mining investigation and exploration of nuclear and other raw materials, Beograd.

The age of the volcanic-sedimentary complex, due to the lack of any fossils, was determined according to lithologic correlation, as Upper Eocene, including the transition from Middle to Upper Eocene (Sheets of the Geological map 1:100.000 — Rafsanjan I and II, Pariz and Chahar Gonbad).

According to a later interpretation of M. D. Dimitrijević in the 1:500.000 map, the age is probably Middle to Upper Eocene (M. D. Dimitrijević, 1973). Dimitrijević has named this series Razak Complex. It generally unconformably overlies the Middle Eocene Sedimentary Complex. This Complex is subdivided into three subcomplexes, two of them (Lower ER_1 — 25 and Middle ER_2 — 21) being developed in this area.

The main development of Lower Razak Subcomplex is at Kuh-e--Mamzar, and Band-e-Mamzar, and accordingly we will further call this unit as *Mamzar Subcomplex*. The thickness of this Subcomplex is unknown, most probably few thousends of meters.

Stratigraphic subdivision is impossible due to the lack of any fossil remains.

These rocks have been lithologically subdivided. Being stratified, the lithologic members may he regarded as stratigraphic. The volcanites and sediments have been separated, and in the case when this wes impossible, they have been mapped as an undivided subcomplex (Encl. 1).

In the lower part of Mamzar Subcomplex the andesites are more basic. Later intermittent erruptions of more acidic laves are more common, and certain andesites baer some characteristics of trachites.

Basic andesites crystallized from dry, degased lavas, that have been very mobile, creating extensive fissure type eruptions. Thus, very extensive flows of andezitic rocks, and comparatively thin, have been created. Later, pyroclastic material was deposited, mostly in quantities larger then lavas. If the period betveen two eruptions was long enaugh, the sedimentation of breccias, rarely sandstones, took part. The middle parts of Mamzar Subcomplex contain ignimbrites and ignimbrite porphyrites. These rocks originated from highly viscous melts of neutral or acidic composition. They rarely create normal effusive rocks, usually strong explosions took place, forming hot pyroclastic material rich in gases. Thus, ignimbritic flows have been created, occurring as »fluidal andesite« in the field, with flow traces of ignimbrite fragments.

The differentiation of magma gradually advanced, and consequently, trachiandesites occur, in the upper levels of the Mamzar Subcomplex.

Andesite — basalts are not comman, but can be detected in all levels of Mamzar Subcomplex. Basalts are very rare, and trachi-basalts can be found only in the upper part of Mamzar Subcomplex. Eocen dacites are rare, but occur in both subcomplexes. Similar development has Eocene trachite. Rocks of Middle Rezak Subcomplex are developed in the western part of this area. They overlie Mamzar (or Lower Razak) Subcomplex. Although nowhere in this area a clear unconformity betveen these two Subcomplexes was observed, it most prabably exists.

Sediments are rather similar in all parts of Razak Complex in this area. Coarse grained clastites, andesitic breccia and agglomerate predominate over tuff and sandstone. The main characteristics of the Middle

Razak Subcomplex is the development of limestone intercalations in sediments.

Intrusions of plutonic rocks are numerous. They unconformably invaded the Razak Complex and older dacito-andesites of Kuh-e-Panj. Intrusions are probably of Oligocene — Lower Miocene age, the intrusions being overlain with Middle Miocene Sediments.

According to M. D. Dimitrijević, these plutonites belong to granodioritic rocks of Jebal Barez type, their age (on the map 1:500.000) being Middle to Upper Miocene.

The presence of a large, deep, granitic batholith is probable, and its most prominent peaks, and stocks are denudated and exposed.

Erosion level is variable, and depends on the extention of the outropping intrusive and the type of rocks exposed.

All intrusive rocks are concetrated around thise plutons (Encl. 1) and each pluton we consider as the upper part of the batholith.

These are: Kuh-e-Mamzar pluton in the west, Band-e-Mamzar in the center, Deh Siahan in the north and Bagh Khoshk and Aliabad in the south.

All kinds of acidic and intermediate plutonic rocks are represented, except for granite-porphyry and syenite, the latter occuring only as dykes. Differentiation of magma depended on its original chemical composition, depth of intrusion, and the size of the pluton (cooling rate), was slow, and all plutonic rocks have been created during a single phase. Depending on mineralogic composition and geologic position, plutonic rocks may be subdivided into three groups: granitic, monzonitic and dioritic.

Granites are situated in the central parts of the pluton, mostly in the deepest eroded Kuh-e-Mamzar stock. The pluton of Alibad on the southern rim of the map is also deeply eroded, but at Band-e-Mamzar, granites are rarely exposed. Granite is of hornblende — biotite type. Granodiorites are the commonest plutonic rocks. They are situated in the central parts of less eroded plutons or as a »sheel« around the granitic core (in places up to the contact). It is also of hornblende-biotite type. Granodiorite-porphyry is a variety with porphyric texture, and occurs along the rims of plutons. Tonalite very rarely replaces granodiorite.

Quartzmonzonites crop out on the northern and southern parts of this area and replace quarzdiorites. Among then the commonest is biotite--hornblende variety, in places with augite. Having porphyritic texture these rocks are quarzmonzonite-porphyries, e.g. along the rims of Dehsiahan pluton. Monzonites are comparatively scarce type of rocks. The Dehsiahan monzonite is of augite-hornblende-biotite variety, and Band--e-Mamzar monzonite belongs to pyroxene variety. The small Band-e--Mamzar pluton is composed of augite monzonite porphyry. This rock Dimitrijević determined, as subvolcanic andesite of Kuh-e-Panj type, but they are not similar to then.

Quarzdiorites, are widespred rocks, especially in the western part of this area. They are usually green, very fine grained and when weathered, they are very similar to hornfelsed andesites.

Quarzdiorite porphyrites are scarce, cropping out along the rim of the plutons. Diorites are more common in the western and central part of the area. They are also very similar to hornfelsed andesites. The apical

part of the Bagh Khoshk pluton is built of pyroxene-amphibole diorite. Diorite porphyrites are common rocks in this area too. They regularily crop out as small masses or along the rims of plutons. Green augite diorite porphyrite near Pariz is probably created during a younger phase of magmatic activity.

Both aschistic and diaschistic vein type rocks occur. Aschistic rocks are either apophyses of plutons or protrude the plutons (probably a younger phase). In both cases the composition is very similar to that of plutonic rock. Diaschistic rocks are the products of a higher degree of magmatic differentiation, such as aplite and lamprophire. Aplite is rare. Dykes of lamprophire occur in the plutons of the central and western part of this area. Granular lamprophire is determined as spessartite.

Posteocene effusive rocks are common, prevailing in the eastern part of the mapped area. Most abundant are dacites and andesites, that may be subdivided into older and younger ones.

The older dacitic and andesitic rocks crop out at Kuh-e-Panj, where they intrude rocks of Eocene age, and are in turn overlain by conglomeratis of Miocen age and intruded by granodiorite porphyries. Their age is probably Oligocene. They have been consolidated in subvolcanic or subareal conditions being accompanied with tuffs (Fig. 8). Dimitrijević (1973) considers that these rocks originated contemporaneously with Jebal Barez plutonites, being the subvolcanic Kuh-e-Panj type. The younger dacites and andesites are similar to these rocks but much younger. They intrude Pliocene beds in this area. They mainly crop out as dykes or necks, accompanied in places with agglomerates and tuffs (most of them has been redeposited in the Sirjan Basin), Dimitrijević defines them as Dehaj Type subvolcanic intrusives, and that coincedes with our field observations.

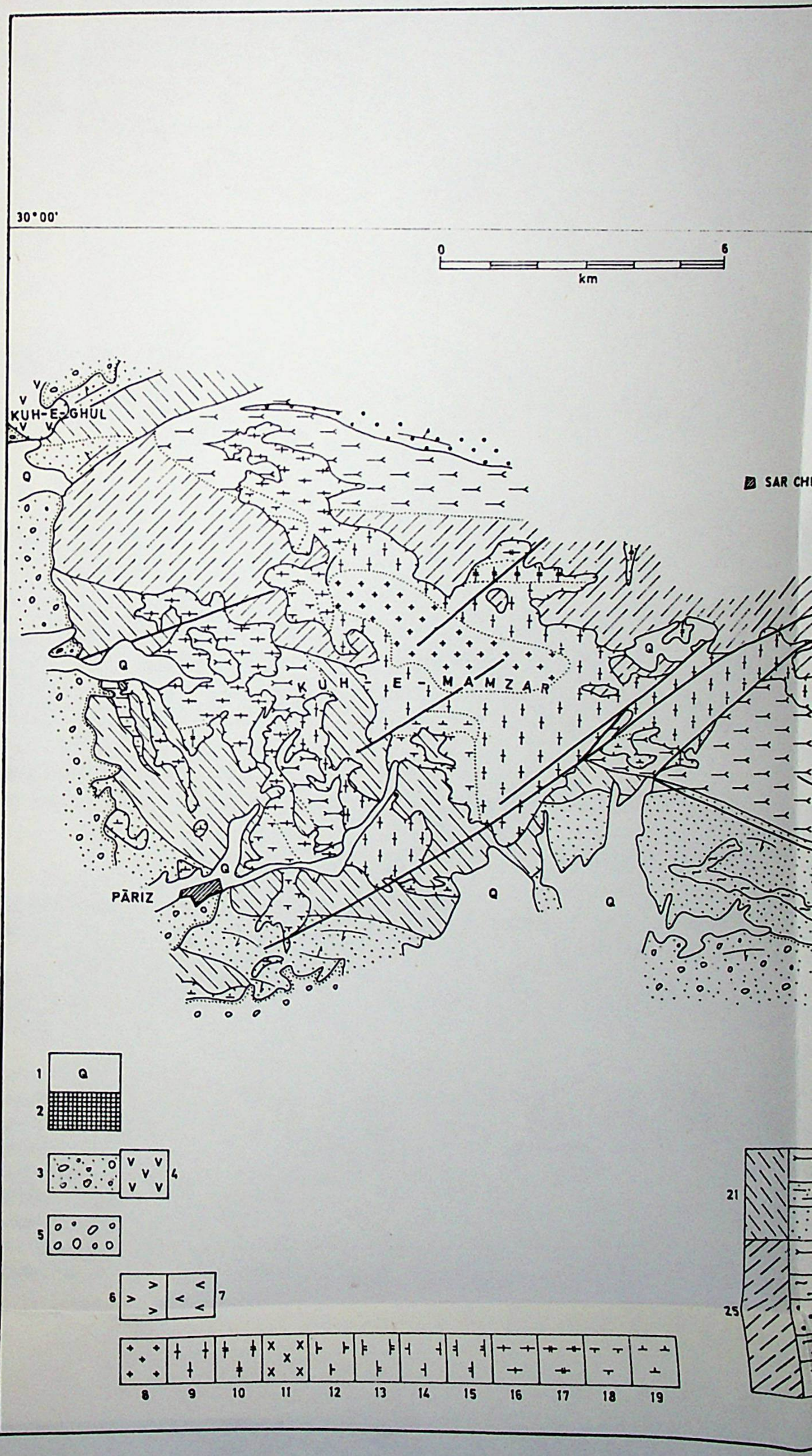
West and north of Kuh-e-Panj the subvolcanic bodies of probable rhyolit-porphyry composition crop out. An extensive outcrop has been traced inside the tuffs. Their age is probably Lower Miocene.

Neogene rocks have been subdivided into older and younger ones. Red conglomerates and sandstons are older at Kuh-e-Panj, and M. Dimitrijević refers to them as the base of Upper Red Formation of Miocene age. Dacito-andesitic agglomerates and tuffs are younger and Dimitrijević supposes their age as a middle unit of Pliocene age. This resedimented pyroclastites obviously are related to the Kuh-e-Panj and Kuh-e-Ghul volcanoes eruptions, the volcanoes being active during Pliocene.

The investigated area belongs to the Dehaj-Saraduiyeh belt (M. D. Dimitrijević, 1973), which covers the largest part of Kerman region, from Kuh-e-Mamzar in the northwest, up to Jebal Barez in the south east.

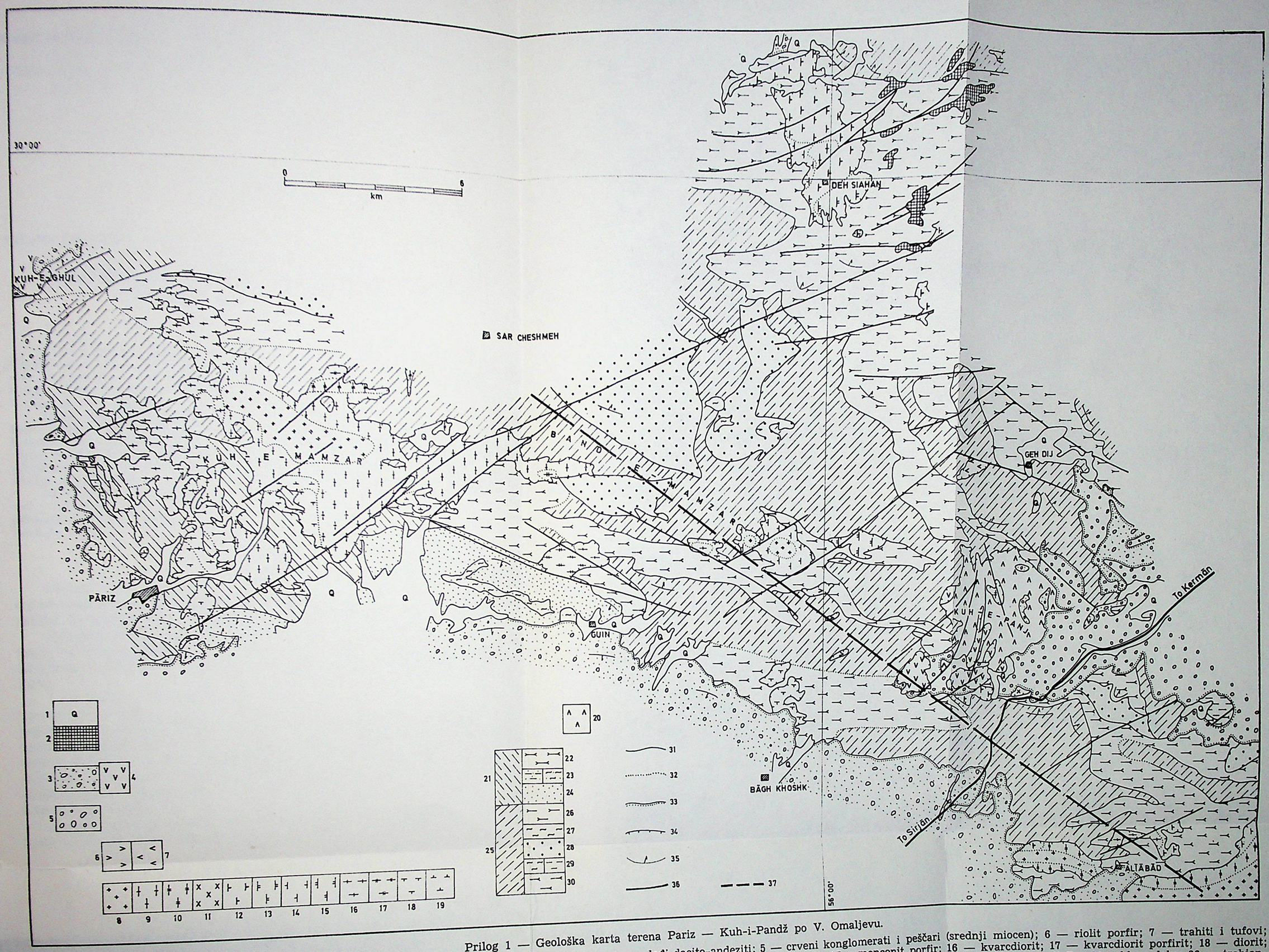
Mamzar Subcomplex generally dips to the northeast, and lesser folds can be rarely observed. The rocks of Middle Razak Subcomplex are dipping to the southwest and northwest. Folds were also observed, and a fold system, most probably a synclinorium, north of Kuh-e-Panj is supposed.

The faults are recognized due to the alteration phenomena, and photogeologically they can be traced for few tenths of kilometers.



Prilog 1 —

1 — Kvartarni nanos; 2 — karbonatni slojevi; 3 — dacitsko-andezitski aglomerati i tu
8 — granit; 9 — granodiorit; 10 — granodiorit porfir; 11 — tonalit; 12 — kvarcmo
19 — diorit porfirit; 20 — stariji dacito-andezititi i tufovi; 21 — srednji Razak subk
deziti, andeziti i andezit bazalti; 27 — trahiti; 28 — sedimenti; 29 — trahiti, daciti;
geološ



Prilog 1 — Geološka karta terena Pariz — Kuh-i-Pandž po V. Omaljevu.

1 — Kvartarni nanos; 2 — karbonatni slojevi; 3 — dacitsko-andezitski aglomerati i tufovi (pliocen); 4 — mlađi dacito-andeziti; 5 — crveni konglomerati i peščari (srednji miocen); 6 — riolit porfir; 7 — trahiti i tufovi; 8 — granit; 9 — granodiorit; 10 — granodiorit porfir; 11 — tonalit; 12 — kvarcmonconit; 13 — kvarcmonconit porfir; 14 — monconit; 15 —monconit porfir; 16 — kvarcdiorit; 17 — kvarcdiorit porfirit; 18 — diorit; 19 — diorit porfirit; 20 — stariji dacito-andezititi i tufovi; 21 — srednji Razak subkompleks; 22 — andeziti i andezit bazalti; 23 — daciti, trahiti; 24 — sedimenti; 25 — Mamzar (donji Razak) subkompleks; 26 — trahiandeziti, andeziti i andezit bazalti; 27 — trahiti; 28 — sedimenti; 29 — trahiti, daciti; 30 — andezitii andezit bazalti; 31 — geološka granica; 32 —postepen prelaz; 33 — eroziona diskordancija; 34 — intruzija; 35 — fotogeološki pad; 36 — rased; 37 — granična linija monconita.

Enclosure 1 — Geological map of Pariz — Kuh-e-Panj area by V. Omaljev.

1 — Quaternary deposits; 2 — Calcareous beds; 3 — Dacitic and andesitic agglomerates and tuffs (Pliocene); 4 — Younger dacite and andesite; 5 — Red conglomerates and sandstones (Middle Miocene); 6 — Rhyolite porphyry; 7 — Trachytes and tuffs; 8 — Granite; 9 — Granodiorite; 10 — Granodiorite porphyry; 11 — Tonalite; 12 — Quartzmonzonite; 13 — Quartzmonzonite porphyry; 14 — Monzonite; 15 — Monzonite porphyry; 16 — Quartzdiorite; 17 — Quartzdiorite porphyrite; 18 — Diorite; 19 — Diorite porphyrite; 20 — Older dacites and andesites and tuffs; 21 — Middle Razak Subcomplex; 22 — Andesite and andesite basalt; 23 — Dacite, trachyte; 24 — Sediments; 25 — Mamzar (Lower Razak) Subcomplex; 26 — Trachyandesite, andesite and andesite basalt; 27 — Trachyte; 28 — Sediments; 29 — Trachyte, dacite; 30 — Andesite and andesite basalt; 31 — Geologic boundary; 32 — Gradual transition; 33 — Nonangular unconformity; 34 — Intrusion; 35 — Dip (air photos); 36 — Fault; 37 — Boundary monzonite.

Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina. Sveska 9, 1974. godine

VELJKO OMALJEV

UDK: 622.14 : 553.495 (497.12)

ISTRAŽENOST I METODOLOGIJA PRORAČUNA REZERVI LEŽIŠTA URANA ŽIROVSKI VRH

(sa 8 slika i 7 tabela)

U ovom radu su sumirani svi rezultati višegodišnjeg istraživanja ležišta urana Žirovski vrh koji su od značaja za ekonomsku ocenu industrijske vrednosti uranove rude. Proračunom rezervi rude i urana u 1969. godini završena je jedna faza istraživanja ležišta. Zato su u radu obrađeni rezultati istraživanja koji su postignuti zaključno sa 1968. godinom.

Raniji, nezvanični, proračuni rezervi obrađeni su samo fragmentarno, da bi se bolje uočila problematika koja je postupno rešavana. U našoj zemlji nije bilo proizvodnje urana u industrijskom smislu, te se to veoma negativno odražava na rešavanje problematike ekonomske ocene ležišta. Ne postoje podaci o tržišnim cenama tehničkog koncentrata urana, niti postoje konkretna iskustva industrijske eksploatacije uranovih ruda.

Na kraju je u radu data ekonomska ocena izračunatih rezervi. Dato je učešće već istraženih rezervi u ukupnim rezervama koje su neophodne da bi se moglo pristupiti izgradnji rudničkih i fabričkih postojenja za proizvodnju tehničkog koncentrata urana.

UVOD

Godine 1960. otkrivene su pojave anomalne radioaktivnosti i sekundarna uranova mineralizacija u sivim gredenskim peščarima i konglomeratima Žirovskog vrha. Od tada se ovo ležište neprekidno istražuje.

Poludetaljna geološko-geofizička prospekcija okonturila je prostor na kome su izvedeni relativno obimni istražni radovi. Ležište je simultano istraživano rudarskim istražnim radovima i bušenjem sa površine i iz jame.

Prva bušenja sa površine imala su karakter strukturnih istraživanja geološko-tektonskog sklopa ležišta. Na dužini oko 4 km izbušena su tri poprečna struktrna profila dubokih bušotina, koja su kasnije povezana uzdužnim profilima (sl. 1). Sem strukturnih podataka o geološkoj građi terena, dobijeni su prvi podaci o mineralizaciji urana. Na osnovu ovih podataka okonturen je prostor za detaljnija istraživanja (V. O m a l j e v 1966) ovoga ležišta, koji se nalazi između strukturnih profila II i III (sl. 1), a iznosi oko 1 km².

Ležište je dalje istraživano rudarskim radovima i bušenjem. Istovremeno sa strukturnim bušenjem počet je strukturni potkop Pi, iz kojeg je

idućih godina izrađen rudarski horizont 580 m, kojim je istražen najveći deo ležišta Žirovski vrh. Pored osnovne namene rudarskih prostorija da omoguće direktno proučavanje veličine i oblika rudnih tela kao i sadržaje korisne komponente, hodnici su iskorišćeni za bušenje po relativno gustoj mreži, što se svakako ne bi moglo izvesti sa površine.

Da bi se ispitala mogućnost eksploatacije rude preduzeto je t.zv. probno otkopavanje rude. Komplikovana morfologija kontura rudnih tela i velika varijacija sadržaja urana upoznati su vrlo detaljno ovim specijalnim eksploatacionim istraživanjem relativno malih delova ležišta.

Ležište urana Žirovski vrh je za sada jedino u našoj zemlji koje ima uslove da se u neposrednoj budućnosti eksploatiše. Višegodišnji rad mnogobrojnih saradnika Instituta dao je kao rezultat ovo ležište. Autor je neposredno bio stalno angažovan na problematici istraživanja, od samog početka.

Geografski položaj i morfologija terena

Ležište urana Žirovski vrh nalazi se na SI padinama istoimene planine, nedaleko od sela Gorenja Vas, oko 30 km zapadno od Ljubljane. Asfaltnim putem povezano je sa železničkom stanicom Škofja Loka (22 km) i Ljubljanom (45 km).

Žirovski vrh je planina čiji se greben pruža pravcem SZ—JI, a najviši vrhovi su Javorski grič (900 m) i Goli vrh (962 m).

Morfologija oblika terena je zavisna od litološkog sastava. Karbonatne stene daju oštrije oblike reljefa, ali one se nalaze ispod tektonskog pokrova paleozojskog kompleksa stena i otkrivene su samo u rečnim dolinama. Škriljave stene (argilošisti, tufozni škriljci i crveni gredenski alevroliti) su obično duboko razoreni i pokriveni nanosom, gradeći blage terasaste oblike u terenu (nekad podsećaju na stabilizovana klizišta). Gredenski psamiti i psefiti daju relativno strme oblike viših delova planine.

Hidrološke i klimatske karakteristike terena

Područje Žirovskog vrha odlikuje se vlažnom kontinentalnom klimom, na višim delovima terena planinskom. Preko cele godine ima padavina, a u nižim delovima terena česte su magle.

Podaci kišomerskih stanica za desetogodišnji period 1959—1968. godine beleže maksimum padavina 1960. godine 2.639 mm, minimum 1967. godine 1.670 mm, a srednja vrednost je 2.019 mm. Padavine su dosta neujednačene po mesecima. Decembra, januara i februara padavine su najniže. Od marta do jula postoji relativno mali priraštaj padavina. Od avgusta padavina je sve više, a maksimum se nalazi u novembru, prosečno 269 mm, a to je iznad proseka svih ostalih meseci.

Velike atmosferske padavine daju dovoljno vode za prihranjivanje izdani i površinskih tokova. Veliki potoci i rečice nikad ne presušuju. Planina obiluje gustom mrežom površinskih tokova koji teku periklinalno od grebena. Najveći broj na većim visinama presušuje. Avgusta meseca je merena količina vode koja se izdrenira sa Žirovskog vrha. Oko 25% tokova izdrenira 550 l/sec. ili 1.980 m^3 na čas.

GEOLOŠKO-TEKTONSKA GRAĐA LEŽIŠTA

Geološko-tektonska građa ležišta je do sada više puta obrađena (V. Omaljev 1965, 1966. i 1967a), te će ovde biti izložena u skraćenom obimu, koliko je neophodno za shvatanje geološkog sklopa ležišta.

Geološki sastav

Najstarije stene u ležištu su argilošisti o čijoj starosti nema paleontoloških podataka. Ranije se smatralo da su argilošisti karbonske starosti (V. Omaljev 1965, 1966. i 1967a — prema podacima do 1963. godine), a kasnije je zapaženo da argilošisti sadrže interkalacije peščara sličnih gredenskim, te je verovatno da je njihova starost permska (V. Omaljev i A. Ramovš 1967). Grad (1967) i Mlakar smatraju da su ove tvorevine permokarbonske starosti (I. Mlakar 1969).

Preko argilošista, prividno konkordantno, leže gredenski slojevi srednje permske starosti, koja takođe nije paleontološki dokazana. Verovatno da postoji eroziona diskordancija u odnosu na argilošiste. Gredenske slojeve delimo u dve serije:

Siva serija.

Crvena serija.

Siva serija leži direktno preko argilošista. Izgrađena je od sivih peščara i konglomerata sa relativno retkim i tankim interkalacijama crvenih peščara i alevrolita. Debljina sive serije u ležištu je do 400 m, a lateralno se smanjuje do 200 m. Karakteristično je prisustvo organske materije, koja se nekad javlja kao antracit. Uranova mineralizacija je genetski vezana za sive psamite i psefite ove serije.

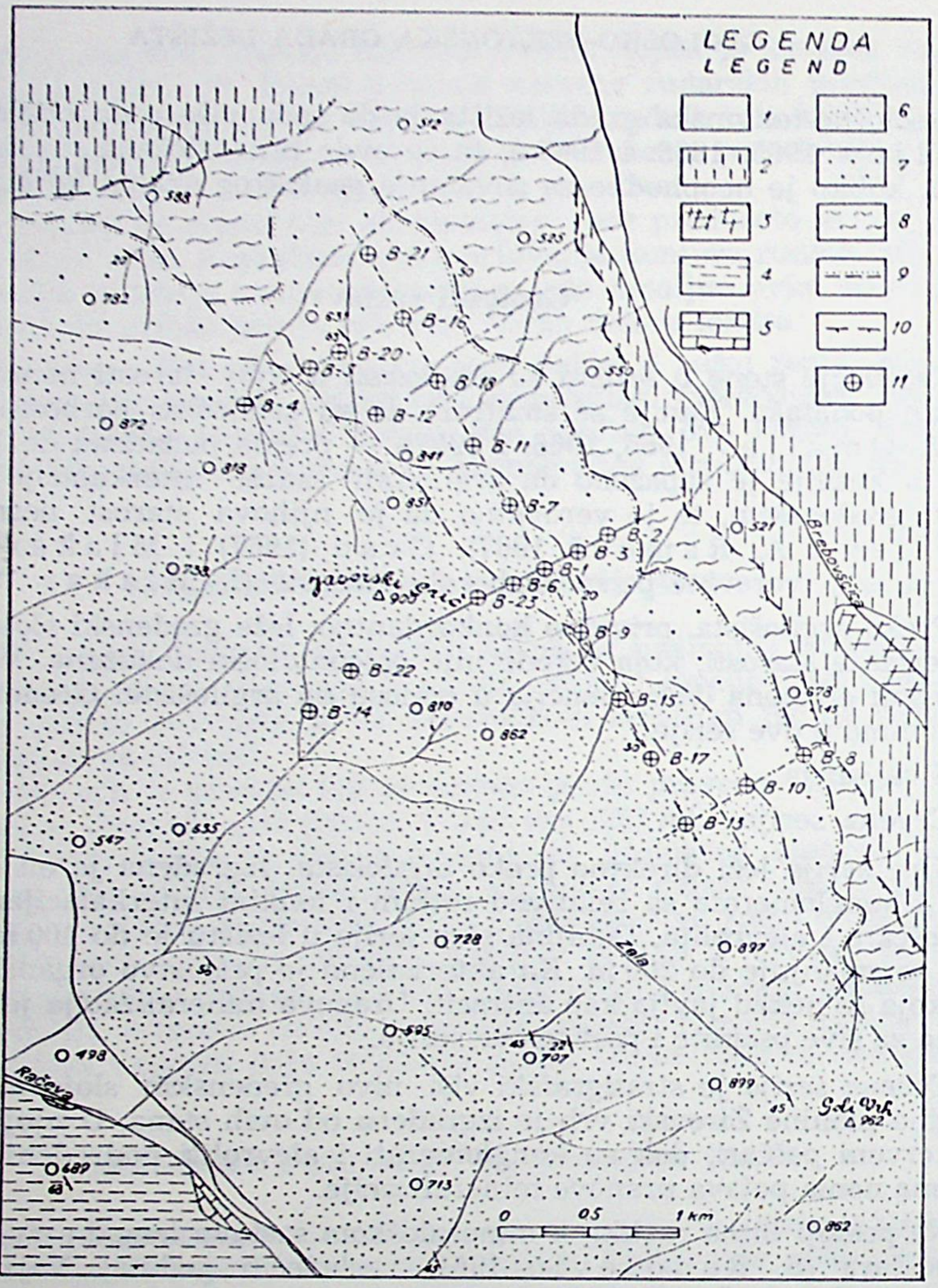
Crvena serija je stratigrafski viši nivo gredenskih slojeva. Najveća površina planine Žirovski vrh je izgrađena od ovih stena. U njoj preovlađuju crveni peščari, dok su konglomerati i alevroliti podređeni. U ovim stenama nema pojava uranove mineralizacije.

Ne postoji bitna razlika u mineraloškom sastavu između sivih i crvenih peščara (S. Radošević 1961. i sledećih godina). Najznačajnija karakteristika gredenskih klastita je redovno prisustvo fragmenata vulkanita kvarcporfirskog sastava, a oni su obilniji u sivim litološkim članovima. U sivim peščarima preovlađuje kvarc vulkanogenog porekla, a u crvenim je više kvarca iz kristalastih škriljaca.

Preko crvene serije leže neregularno razvijeni *belerofonski krečnjaci* i *dolomiti*, gornje permske starosti.

U pravcu jugozapada, preko permskih tvorevina leže *verfenski škriljci* i u tom pravcu stratigrafska superpozicija je normalna.

Severne i istočne padine Žirovskog vrha izgrađene su od gornjetrijaskih tvorevina u čijoj podini se nalaze *saharoidni dolomiti* kasijanske starosti. Rabeljski slojevi karnijskog kata poznati su kao *tufozna serija*, a iznad nje leži dobro uslojeni *glavni dolomit*. Preko ovih tvorevina direktno leži navlaka Žirovskog vrha (sl. 1 i 2).

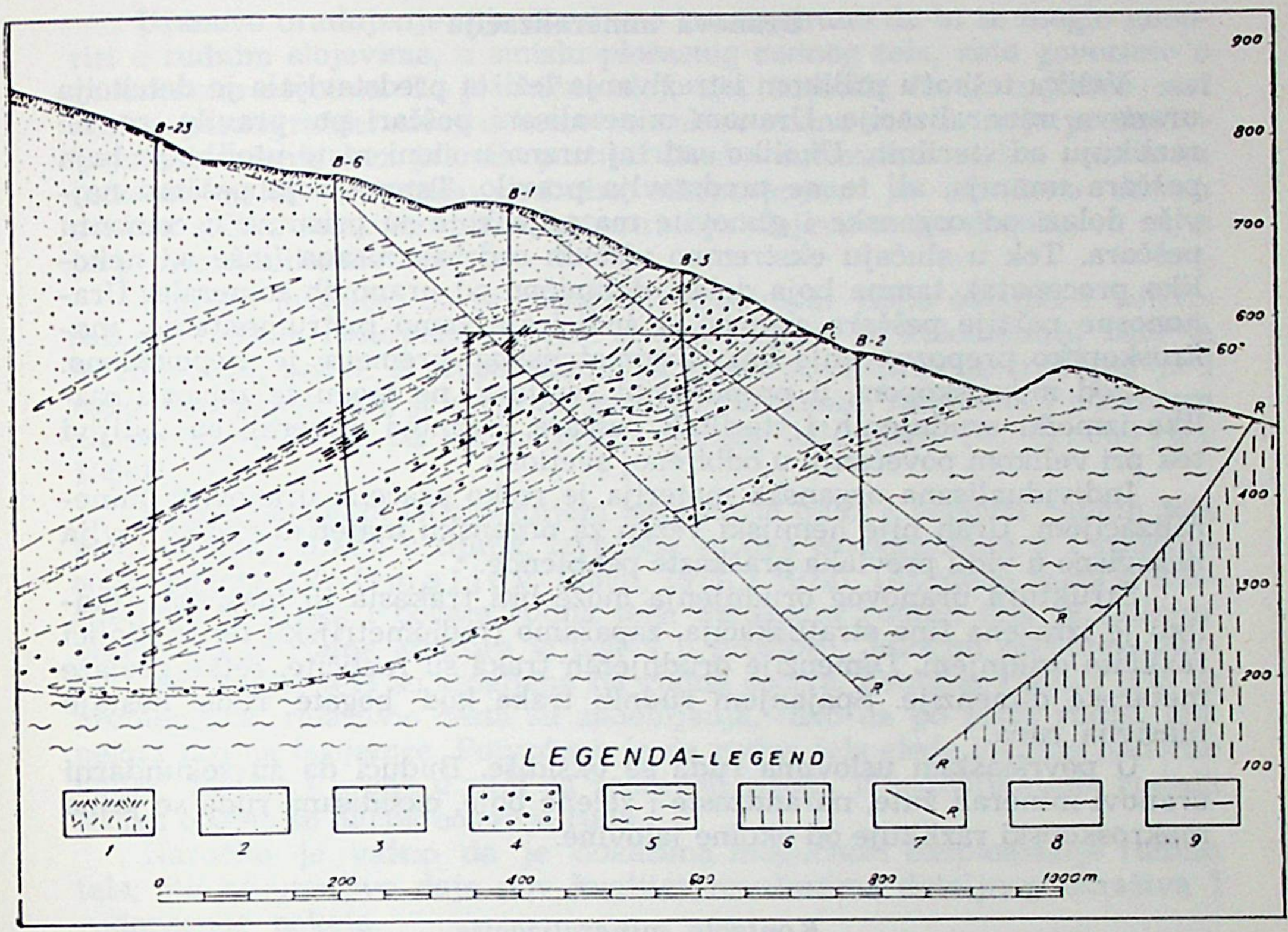


Sl. 1 — Geološka karta ležišta urana Žirovski vrh (po P. Marinkoviću i V. Omaljevu).

1 — aluvijum; 2 — gornji trijas; 3 — srednji trijas; 4 — donji trijas; 5 — belerofonski krečnjaci i dolomiti (gornji perm); 6 — gredenska crvena serija (srednji perm); 7 — gredenska siva serija (srednji perm); 8 — argilošisti (donji perm); 9 — eroziona diskordancija; 10 — navlaka; 11 — bušotine.

Fig. 1 — Geological map of uranium deposit of Žirovski vrh (after P. Marinković and V. Omaljev).

1 — Alluvium; 2 — Upper Triassic beds; 3 — Middle Triassic beds; 4 — Lower Triasic beds; 5 — Belerophon limestones and dolomites (Upper Permian); 6 — Grödener Red series (Middle Permian); 7 — Grödener gray series (Middle Permian); 8 — Argilloschists (Lower Permian); 9 — Nonangular uncorformity; 10 — Overthrust; 11 — Drill holes.



Sl. 2 — Poprečni profil II kroz ležište.

1 — deluvijum; 2 — crveni peščar; 3 — sivi peščar; 4 — sivi konglomerat; 5 — argilošist; 6 — rabeljski škriljac (gornji trijas); 7 — rased; 8 — eroziona diskordancija; 9 — uranonosni nivo.

Fig. 2 — Cross section II of Žirovski vrh ore deposit.

1 — Deluvium; 2 — Red sandstone; 3 — Gray sandstone; 4 — Gray conglomerate; 5 — argilloschists; 6 — Rabelj slate (Upper Triassic); 7 — Fault; 8 — Nonangular unconformity; 9 — uraniumbearing level.

Paleogeografija basena

Gredenski slojevi Žirovskog vrha taloženi su u plitkom basenu u kojem je dolazilo do smenjivanja geohemijskih uslova sredine. U dubljim delovima basena preovladavao je redukcioni, a u plićim delovima oksidacioni režim sredine taloženja.

Za vreme stvaranja sive serije, u basenu se smenjivao redukcioni i oksidacioni režim sedimentacije, kao posledica ritmičkog produbljavanja, odn. zapunjavanja basena. Ritmika sedimentacije je vrlo složena u detalju, ali se mogu izdvojiti pet makroritmova sedimentacije (V. O m a l j e v 1967a). Odnos Th/U ukazuje da su se sivi peščari taložili u basenu dalje od obale, a crveni peščari na kopnu (M. P r o t i ć i S. G o j k o v i ć 1965).

Uranova mineralizacija

Veliku teškoću prilikom istraživanja ležišta predstavljala je detekcija uranove mineralizacije. Uranom mineralisani peščari po pravilu se ne razlikuju od sterilnih. Ukoliko sadržaj urana u steni raste utoliko je boja peščara tamnija, ali to ne predstavlja pravilo. Tamna boja peščara najviše dolazi od organske i glinovite materije koje su prisutne u cementu peščara. Tek u slučaju ekstremno visokih sadržaja urana (više od nekoliko procenata), tamna boja dolazi delimično od uranovih minerala. Uranonosne partije peščara sigurno se indiciraju samo instrumentalno; makroskopsko prepoznavanje bez radiometrijskog premera je nepouzdano.

Pod mikroskopom, u propuštenoj svetlosti, ne mogu se zapaziti razlike između orudnjenih i sterilnih peščara. Uranovi minerali su vidljivi tek pri velikom povećanju u odbijenoj svetlosti.

Individualisana organska materija je retko praćena uranovom mineralizacijom. Uran nije hemijski vezan za organsku materiju već se javlja nezavisno u vidu prevlaka praškaste pehblende.

Struktura uranovog orudnjenja može biti trakasta ili masivna. Ukoliko je izražena fina stratifikacija, zapažamo (radiometrijski) da su slojići različito orudnjeni. Dimenzije orudnjenih traka su različite, retko prelaze metarske dimenzije. Spajanjem rudnih traka kod bogate rude nastaje masivna ruda.

U površinskim uslovima ruda se oksidiše. Budući da su sekundarni uranovi minerali žute, narandžaste i zelene boje, oksidisana ruda se jasno makroskopski razlikuje od okolne jalovine.

Kontrola mineralizacije

Uranova mineralizacija je isključivo vezana za sive psamite i psefite. U crvenim peščarima nema anomalija radioaktivnosti, sem pojava vezanih za radonovu emanaciju (za kraće vreme ovakva »anomalija« iščezava). *Sivi klastiti* su zapravo *litološka kontrola* mineralizacije, odn. siva boja je posledica redukcionih uslova još za vreme sedimentacije, te je ona istovremeno i *geohemijska kontrola* uranove mineralizacije.

Položaj uranove mineralizacije u ležištu regulisan je slojevitošću, tj. *slojevitost* je *strukturna kontrola* mineralizacije. Ovaj fenomen se može direktno zapaziti na primercima, i zidovima hodnika (V. O m a l j e v 1967a).

U rasedima, pukotinama i kvarcno-kalcitskim žicama nije zapažena uranova mineralizacija već samo sulfidi. Takođe i klivažne prsline su sterilne. Međutim, zapažena je sekundarna migracija urana po klivažnim prslinama, ali to nema veze sa kontrolom uranovog orudnjenja.

Rudna tela

Uranovo orudnjenje u ležištu zahvata izvestan prostor, po stratigrafskoj vertikali, koji zovemo *pojas mineralizacije* (V. O m a l j e v 1967a). Stratigrafski najniži rudonosni nivoi nalaze se već u sivom članu prvog ritma, na znatnoj daljini od podinskih argilošista. Pojas mineralizacije završava se u sivom članu IV ritma sedimentacije.

Uranovo orudnjenje nije razvijeno kontinuirano da bi se moglo govoriti o rudnim slojevima, u smislu pločastog rudnog tela, zato govorimo o rudonosnim nivoima. To je obično sloj, odn. litološki član, najčešće sivi peščar (stratigrafski nivo) u kome se nalaze rudna sočiva, koja predstavljaju orudnjenje bez jalovih partija. Ovako definisana rudna sočiva su redovno malih dimenzija; probnim otkopavanjem je utvrđeno da su ovakva sočiva relativno mala: po pružanju slojeva retko dostižu 10 m, a po padu nekoliko metara.

Ukoliko je slučaj da se rudonosni nivo može jasno odvojiti i koleri-sati na velikim rastojanjima (više stotina metara ili kolometara) tada je to rudonosni paket. U sivom članu III ritma sedimentacije izdvojen je I rudonosni paket, koji je detaljno istražen rudarskim radovima i bušenjem na horizontu 580 m na dužini preko jednog kilometra (V. Omaljev 1966).

Eksploatacionim istraživanjem istražen je oblik i veličina rudnih tela kao i sadržaji urana u njima. Izvedena su dva eksperimenta u I rudonosnom paketu (V. Omaljev 1969b, 1971. i 1972). Utvrđeno je da u ležištu postoje velika i bogata rudna tela. Struktura rudnih tela je složena, budući da je rudna kontura vijugava u prostoru. Jalovim međuprostorima veća rudna tela su izdeljena na rudna sočiva, debljina rudnih tela je promenljiva, relativno česta su zadebljanja, tako da po padu rudna tela nekad liče na brojanice. Potvrđeno je da rudna tela slede lokalne naborne oblike. Sadržaji urana u rudi su relativno visoki, u zadebljanjima rudnih sočiva obično se nalazi bogatija ruda.

Naročito je važno da je dokazana mogućnost eksploatacije rudnih tela, što nesumnjivo daje nov kvalitet rezultatima detaljnog istraživa I rudonosnog paketa.

Izduženost rudnih tela znatno je veća po pružanju slojeva nego po padu, a odnos varira približno 5—10 : 1. Probnim otkopavanjem je utvrđena dijagonalna izduženost nekih rudnih tela, na južnom delu jame.

Povoljna okolnost je da se maksimalno orudnjeni delovi ležišta nalaze jedni ispod drugih, u vertikalnoj koloni (V. Omaljev 1969a). Nekad je kolona malo iskošena. Ova osobina pojasa mineralizacije je od velikog ekonomskog značaja.

Mineraloški sastav rude

Uranova mineralizacija u ležištu Žirovski vrh je monomineralna, ne računajući oksidisane partije u zoni površinskog raspadanja. Rudni uranov mineral je pehblenda, koja je redovno udružena sa sulfidima (D. Radusinović 1967). Ovi rudni minerali se nalaze u cementnoj materiji sivih peščara, ređe konglomerata. Mikroskopski su identifikovani sledeći rudni minerali: pehblenda, pirit, galenit, sfalerit, halkopirit, arsenopirit, tetraedrit, halkozin, kovelin, bornit i markasit; a od sekundarnih (neuranovih) malahit, azurit i arsenolit.

Pehblenda je jedini korisni mineral u ležištu. Disperzno je rasuta u cementnoj materiji sivih peščara. Veličina pojedinih zrna pehblende je vrlo mala, najčešće ispod 10 mikrona. Zapažena je izvesna pozitivna korelacija krupnoće zrnaca pehblende i sadržaja urana u rudi; u bogatoj i

ekstremno bogatoj rudi krupnoća zrnaca meri se stotinama mikrona. Sem u cementu peščara pehblenda je zapažena i duž prslinica pojedinih petrogenih minerala i vrlo retko u prslinicama u organskoj materiji. Najčešće je u asocijaciji sa sulfidima i to prvenstveno sa galenitom, zatim piritom i hlakopiritom, dok sa ostalim rudnim mineralima vrlo retko druguje. Takođe su retki slučajevi kada se u pehblendi nalaze inkluzije ovih sulfida; svakako su najinteresantnije inkluzije halkopirita koji se pretvara u halkozin. Pehblenda se nalazi u onim litološkim članovima koji sadrže organsku materiju, ali se ona, po pravilu, ne nalazi u direktnom kontaktu sa tom organskom materijom.

Pirit je znatno zastupljen u ležištu, stvaran je u više generacija. Nekad se javlja u idiomorfno razvijenim kristalima, pretežno heksaedrima (nekad mm-dimenzija). Kada je u nepravilnim oblicima obično gradi nešto krupnije agregate. Koloidni pirit se razvio uglavnom na organskoj materiji u kojoj je nepravilno rasut, dajući ponekad tipične strukture »orudnjenih bakterija«. Pretvara se nekad u *markasit*.

Galenit je vrlo rasprostranjen mineral u rudi, ali je količinski malo zastupljen. Često druguje sa pehblendom, tada je vrlo sitnozrn i rasut u cementnoj materiji peščara. Galenit često prorasta sa sfaleritom i arsenopiritom. *Sfalerit* je češći i krupnozrniji. Uvek je bez strukturnih izdvajanja i sa jasnom unutrašnjom refleksijom, što ukazuje na niže temperaturne uslove njegovog stvaranja.

Halkopirit je najrasprostranjeniji bakrov mineral u ležištu. Vrlo često druguje sa pehblendom. Stvaran je takođe u više generacija, najstariji je stvaran posle pirita i sfalerita, a najmlađi potiskuje *tetraedrit* (znatno rasprostranjen ali u neznatnim količinama). Halkopirit se pretvara u *halkozin, kovelin* i *bornit,* a u supergenim uslovima u *malahit* i *azurit.*

Arsenopirit je relativno čest rudni mineral u ležištu, obično je u idiomorfnim kristalnim oblicima. U površinskim uslovima pretvara se u *arsenolit.*

Sekundarni uranovi minerali su zastupljeni u oksidacionoj zoni ležišta, to su oksidisana rudna sočiva na mestu; sa minimalnom migracijom urana, uglavnom u okviru rudnog tela. Mineraloškim ispitivanjem (S. Radošević 1961. i M. Vukasović 1963) određene su sledeće mineralne vrste: *dumontit, torbernit, metatorbernit, autunit,* serija *fosfuranilit-renardit* i *gumiti.*

Geneza ležišta

Problem geneze ležišta je veoma značajan, naročito posmatran sa aspekta planiranja i izvođenja istražnih radova, a takođe i za klasifikaciju i kategorizaciju rezervi uranove rude ležišta. Ovaj problem obrađivalo je više autora: Omaljev 1965, 1966. i 1967a; Janković 1965; Radusinović 1967. i Ristić i Markov 1971. godine.

Ležište urana Žirovski vrh genetski pripada tipu infiltracionih ležišta u peščarima. U ležištu nisu zapažene hidrotermalne promene stena, niti je uranovo orudnjenje bilo mobilisano za vreme snažnih tektonskih po-

kreta, kada su nesumnjivo postojale pseudohidrotermalne akcije, koje su manjim delom mobilisale sulfidnu mineralizaciju.

Uran je u ležište unet podzemnim vodama, koje su kroz sive peščare proticale za vreme kopnenog režima sedimentacije (za vreme sedimentacije crvenih peščara). Uran iz ovih voda je obaran na geohemijskim barijerama. Veličina i oblik rudnih tela su svakako posledica dinamike migracija geohemijskih barijera i uranonosnih voda. Za stvaranje velikih i bogatih rudnih tela od najvećeg značaja je vreme trajanja procesa mineralisanja, jer je koncentracija uranil jona u vodama svakako bila mala. Proces geneze uranove mineralizacije završen je potpunom dijagenezom, odnosno, završenom cementacijom ovih sivih klastita.

Sulifdi su stvarani u sličnim uslovima. Bitna razlika od uranove mineralizacije je produženo stvaranje, odnosno, regeneracija dejstvom pseudohidrotermalnih agenasa, znatno kasnije.

Jedina bitna promena koju je uranova mineralizacija pretrpela kasnije je oksidacija u zoni površinskog raspadanja.

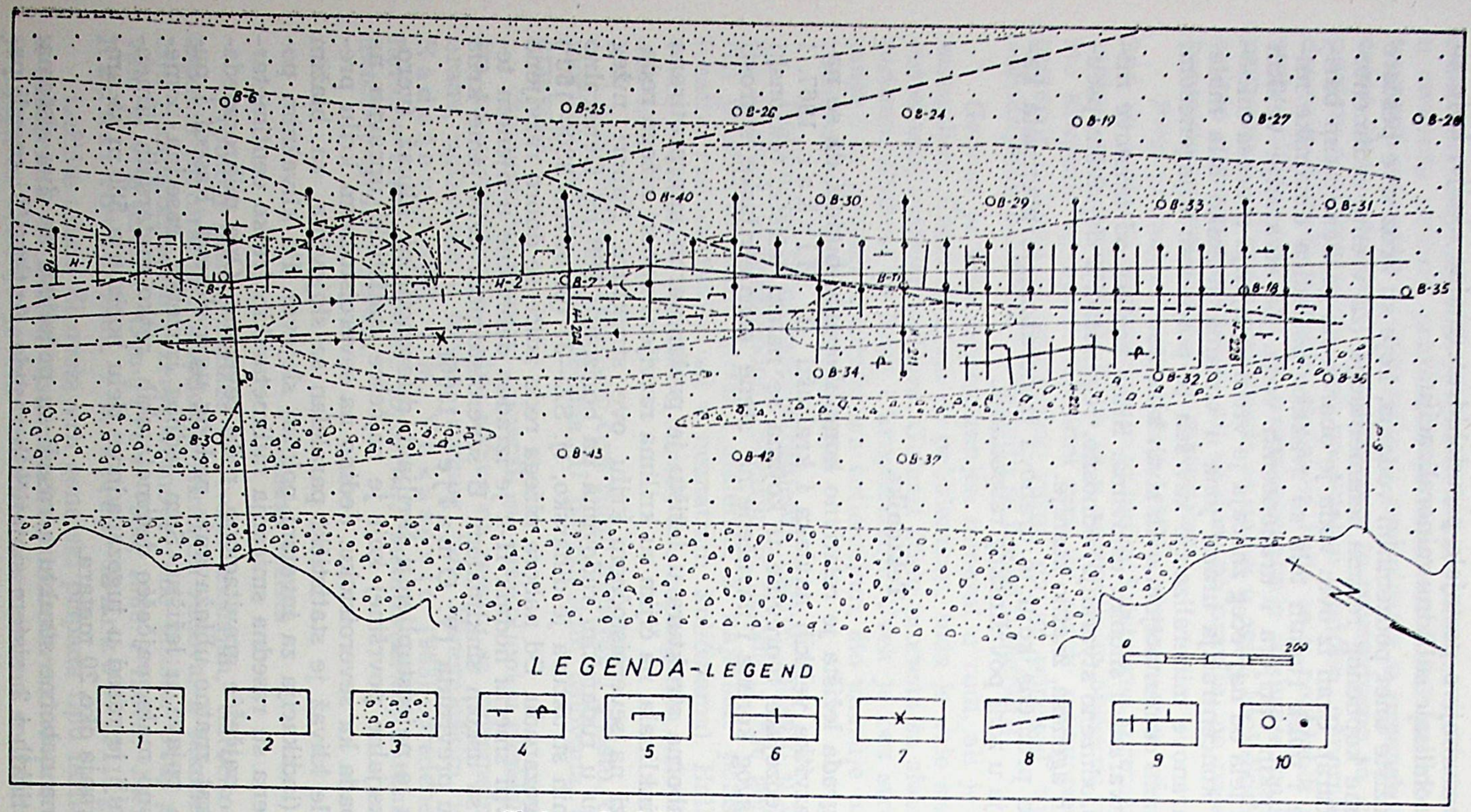
Tektonika

Tektonska građa ležišta je relativno komplikovana, budući da se nalazi u oblasti razvitka velikih navlaka i kraljušti (I. M l a k a r 1967. i 1969). Mladopaleozojske tvorevine u kojima se nalazi ležište, tektonski su otrgnute od svog korena i navučene na stene gornjetrijaske starosti (sl. 1 i 2).

Osnovna naborna struktura u ležištu je preliminarno interpretirana kao prevrnuta sinklinala, na čijim su krilima razvijeni nabori nižega reda. Ležište se nalazi na severoistočnom krilu ove strukture. Nabori nižeg reda zapaženi su u rudarskim radovima na horizontu 580 m. Generalno pružanje nabornih struktura je dinarsko, tj. SZ—JI (približno 330—150°) sa padom ka jugozapadu. Od nabora nižega reda ističe se dobro razvijena antiklinala (glavni smerni hodnik H-2 je izrađen delimično u njenom temenu — sl. 3) sa uskom sinklinalom. U severoistočnom delu jame krila ove sinklinale su prevrnuta (V. O m a l j e v 1966).

Od ruptura je najzastupljeniji škriljavi diferencijalni klivaž (verovatno klivaž aksijalne površine) koji je najčešće statistički upravan na slojevitost, tj. pada ka severoistoku. Jedino na severoistočnom krilu prevrnute sinklinale klivaž je statistički paralelan sa slojevima, sa blažim padnim uglom (indikacija za inversni položaj slojeva). Po klivažnim površinama zapažena su rasedna smicanja milimetarskih (retko centimetarskih) dimenzija, najčešće gravitaciono, ređe reversno. Ovo mikrorasedanje ima za efekat znatno ublažavanje padnog ugla slojeva. Rasedi i pukotine su česta pojava u ležištu. Sem jednog izuzetka, rasedna pomeranja su relativno mala, najčešće decimetarskih, retko metarskih dimenzija. Najznačajniji je rased u jugozapadnom delu horizonta 580 m sa amplitudom pomeranja oko 20 metara.

U odnosu na naborne strukture rasedi su podeljeni na dva sistema: 1. sistem antitetičkih i 2. sistem sintetičkih raseda. Antitetički rasedi pa-



Sl. 3 — Geološka karta horizonta 580 m.

1 — crveni peščar; 2 — sivi peščar; 3 — sivi konglomerat; 4 — pad slojeva, prevrnut sloj; 5 — pad klivaža; 6 — antiklinala; 7 — sinklinala; 8 — rased; 9 — rudarski hodnici; 10 — površinska (B) i jamska (V) bušotina.

Fig. 3 — Geological map of the level 580 m.

1 — Red sandstone; 2 — Gray sandstone; 3 — Gray conglomerate; 4 — Dip of beds; 5 — Dip of cleavage; 6 — Anticline; 7 — Syncline; 8 — Fault; 9 — Mining underground works; 10 — Drill hole: (B) on the surface, (V) underground.

daju suprotno od slojeva, mlađi su od drugog sistema i znatno su češće zastupljeni (preko 80% raseda u jami). Svi veći rasedi u jami pripadaju prvom sistemu.

Utvrđeno je da su sve rupture, uključujući i klivaž, postrudne starosti.

Hidrogeološke karakteristike ležišta

Za određivanje bilansnosti ruda urana, sa aspekta njihove eksploatabilnosti, hidrogeološke karakteristike ležišta predstavljaju značajan faktor. Budući da je istražni rudarski horizont 580 m uvek bio na većoj visini od granice sive serije sa argilošistima (za koje se znalo da predstavljaju hidrogeološki izolator), hidrogeološka proučavanja ležišta su izvedena u kasnijoj fazi istraživanja, na početku otvaranja rudarskog horizonta 430 m.

Prvo hidrogeološko rekognosciranje terena izvršio je V. Stevanović 1965. godine (diplomski rad). Kasnije je urađena hidrogeološka studija ležišta (Ž. Petrović 1969).

Strukturni tipovi poroznosti stena

Poroznost stena je najvažnija hidrogeološka osobina, s obzirom da je količina i migrativna sposobnost podzemne vode isključivo u funkciji poroznosti stena.

Argilošisti su pelitske stene niskog kristaliniteta, sa vrlo dobro izraženom cepljivošću po folijaciji stene. Zato je njihova glavna karakteristika da je vrlo retko zastupljena superkapilarna poroznost, a daleko preovlađuje kapilarna i subkapilarna poroznost. Ove stene su pretrpele vrlo snažna tektonska naprezanja, jer se navlačenje paleozojskog kompleksa Žirovskog vrha vršilo baš po ovim stenama. Vrlo su česte tektonizirane partije argilošista, a u rasedima se nalazi rasedna glina i milonitisani materijal. Ove stene su vodonepropusne.

Gredenski peščari i konglomerati su dobro cementovane stene koje sada nemaju intergranularnu poroznost. Kao posledica velikog tektonskog orijentisanog opterećenja, u ovim stenama razvijen je škriljavi diferencijalni klivaž, rasedi i pukotine. Klivažne pukotine dele stensku masu u lamele, slične slojevima (mikrolitoni). Zastupljenost ovih pukotina je zavisna od granulacije stene, ukoliko su stene sitnozrnije klivaž je gušći (V. Omaljev 1967a). Međutim, dimenzije ovih prslina su male, te se duž klivaža uočava samo vlaženje stenske mase, a retko i slabo kapanje (Ž. Petrović 1969).

Pukotine i prsline su veoma brojne. Dimenzije pukotina su vrlo promenljive, zev se najčešće kreće 1—5 mm. U rudarskim radovima je zapaženo isticanje i kapanje vode uglavnom iz pukotina, nekad u vrlo dugom vremenskom intervalu. Ispitujući 211 pukotina, autor je 1963. godine zapazio tri sistema pukotina. Do sličnih zaključaka došao je i Petrović (1969) ispitujući 177 pukotina.

Prvi sistem pukotina je paralelan generalnom pružanju nabornih struktura (SZ—JI) sa padom ka SI (podređeno ka JZ), tj. statistički je paralelan klivažu i antitetičkim rasedima.

Drugi sistem pukotina je upravan na generalno pružanje struktura i na prvi sistem (SI—JZ), sa strmim padom ka SZ i JI (podređeno).

Treći sistem pukotina je dijagonalan na druga dva, sa pružanjem ISI—ZJZ, sa strmim padom ka JJI, ovo je najbolje izraženi sistem. Po P e t r o v i ć u treći sistem pukotina ima pružanje SSZ—IJI, a pada prema jugu i jugozapadu.

Rasedi u jami su zapravo velike pukotine, čiji je zev često veći od decimetra. Ali većina raseda je ispunjena zaglinjenim rasednim milonitom (V. O m a l j e v 1963), te predstavlja hidrogeološki izolator (veliki rased u jami). Rasedi su nekad zaceljeni kvarcno-kalcitskim žicama. Utvrđeno je da su rasedna pomeranja bila višefazna, najmlađa rasedna pomeranja su najčešće dovela do pucanja bez milonitisanja, tako da ti rasedi imaju funkciju hidrogeološkog sprovodnika.

Površinska zona je dosta raspadnuta, stvoren je veliki broj pora i pukotina dejstvom atmosferilija i insolacije. U ovoj zoni zastupljena je i intergranularna poroznost (Ž. P e t r o v i ć 1969).

Trijaski sedimenti se odlikuju složenom strukturom poroznosti, zavisno od vrsta stena.

Tufozna serija je vrlo heterogenog petrografskog sastava, u njoj se smenjuju tufozni škriljci, peščari, konglomerati i krečnjaci. U tufoznim sedimentima veoma je dobro izražen sunđerasti tip poroznosti. U sklopu cele mase ovih stena uočavaju se pukotine različitog porekla. Pored pukotina, u krečnjacima su stvoreni oblici crevaste, a mestimično kavernozne poroznosti.

U *dolomitima* takođe preovlađuje pukotinski tip poroznosti, mada su zastupljeni i oblici karstne poroznosti.

Prema hidrogeološkoj funkciji, stene možemo podeliti na:

— *hidrogeološke kolektore*
— *hidrogeološke izolatore.*

Poroznost stena opredeljuje njenu hidrogeološku funkciju. Kod *argilošista* daleko preovlađuje kapilarna i subkapilarna poroznost, te su ove stene vodonepropustne i predstavljaju *hidrogeološke izolatore.* U svim *ostalim stenama* zastupljena je superkapilarna poroznost, te su one *hidrogeološki kolektori.* Ne treba zanemariti činjenicu da zaglinjeni rasedi takođe imaju funkciju hidrogeološkog izolatora.

Tipovi izdani i režim kretanja podzemnih voda

Tipovi izdani i režim kretanja podzemnih voda je zavisan od geološko-tektonske građe terena i tipa poroznosti stena.

Argilošisti kao hidrogeološki izolator, nalaze se između trijaskih sedimenata i gredenskih slojeva (navlaka Žirovskog vrha). Na taj način su razdvojena dva hidrogeološka kolektora, odn. dve izdani u njima (sl. 4).

U gredenskim slojevima, u kojima se nalazi ležište, formirana je razbijena pukotinska izdan (V. Stevanović 1965. i Ž. Petrović 1969). U trijaskim sedimentima formirana je složena izdan.

Po svom hidrauličnom mehanizmu, sve izdani su otvorenog tipa, jer postoji mogućnost cirkulacije voda u opštem hidrološkom ciklusu (Ž. Petrović 1969). Uzimajući u obzir strukturnu građu terena, duboki deo kolektora u trijaskim tvorevinama, sasvim je verovatno da je izdan složene strukture u svom zapadnom delu sapeta.

Prihranjivanje izdani vrši se poniranjem atmosferskih taloga i površinskih voda i kondenzacijom vodene pare (podređeno). Obilne padavine u toku letnjih i jesenjih meseci i topljenje snega u toku zime i proleća napajaju izdani praktično preko cele godine.

Režim kretanja i isticanja slobodnih podzemnih voda uslovljen je položajem izdani prema drenažnim tokovima i stepenom poroznosti stena. Sve slobodne podzemne vode ležišta i neposredne okoline gravitacijski su usmerene prema rekama Brebovščici i Sori. Na osnovu merenja nivoa podzemnih voda u istražnim bušotinama utvrđen je generalni pad nivoa izdani prema SSI, odn. prema proširenju doline reke Sore.

Prema izdašnosti, Petrović je podelio izvore na četiri grupe: 1, ispod 0,1 l/sec; 2. 0,1—1 l/sec; 3. 1—10 l/sec i 4. iznad 10 l/sec. Od ispitivanih 606 izvora, 80% čine izvori prve dve grupe. Jedini izvor 4. grupe nalazi se u dolini Brebovščice, pored puta za Lučine (znatno udaljen od ležišta), u srednjetrijaskom dolomitu. Izdašnost ovog izvora je 20 l/sec.

Na terenu ležišta, u gredenskim slojevima, izvori su najčešće gravitaciono-pukotinskog i kontaktnog tipa. Difuzno izviranje vode, u obliku pištevina, relativno je česta pojava. Površine ovakvog izviranja su 5—20, a nekad i do 50 m². Najveći broj izvora je na kontaktu sive serije sa argilošistima. Temperatura izvorskih voda kreće se od 9—12°C, a kod pištevina i do 14°C (Stevanović navodi izvore i od 8°C).

Položaj stalnih izdani u odnosu na rudna tela

Osnovno pitanje hidrogeološkog proučavanja ležišta je uticaj slobodnih podzemnih voda na mogućnost eksploatacije ležišta, tj. na bilansnost rudnih rezervi.

Argilošisti kao hidrogeološki izolator grade zdelastu strukturu (sl. 4) u kojoj se nalazi produktivna siva serija. Na taj način ležište je podeljeno na dva dela:

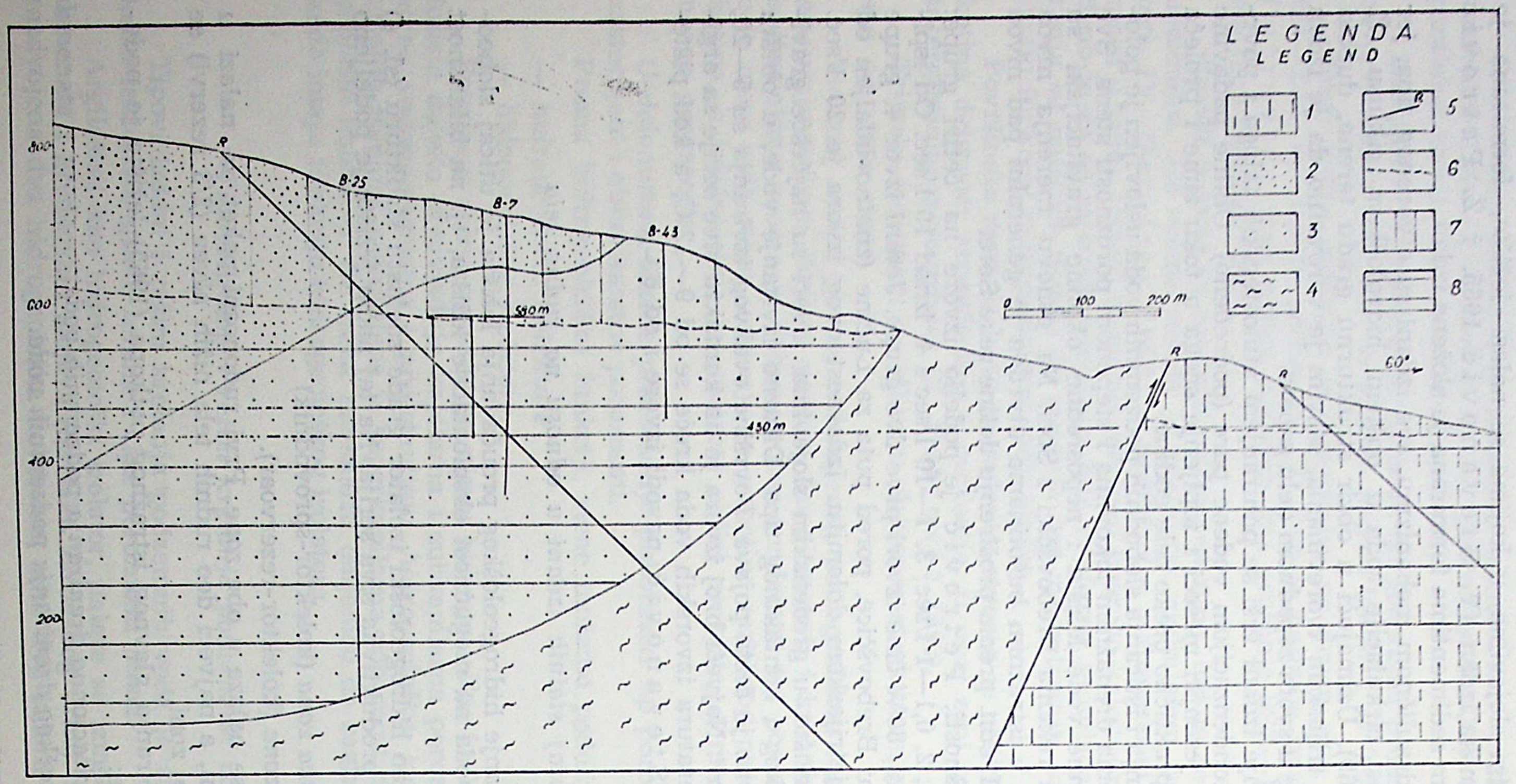
1. *nadizdanska zona* (kolektor-sprovodnik)
2. *izdanska zona* (kolektor-rezervoar).

Rudna tela se nalaze u obe zone. Prvi rudonosni paket se nalazi u nadizdanskoj zoni, a najveći deo rudnih tela nižih nivoa (2/3 rezervi) se nalazi u izdanskoj zoni.

Prilikom lociranja glavnog istražnog potkopa (1965) ležište je podeljeno na dve zone:

— *zona gravitacionog dreniranja podzemnih voda,*

— *zona veštačkog dreniranja podzemnih voda.*



Sl. 4 — Hidrogeološki profil kroz ležište.

1 — Tufozna serija — hidrogeološki kolektor; 2 — crvena serija — hidrogeološki kolektor; 3 — siva serija — hidrogeološki kolektor; 4 — argilošisti — hidrogeološki izolator; 5 — rased; 6 — nivo izdani; 7 — kolektor-sprovodnik; 8 — kolektor-rezervoar.

Fig. 4 — Hydrogeological cross section of the ore deposit.

1 — Tuffaceous series — hydrogeologic collector; 2 — Red series — hydrogeologic collector; 3 — Gray series — hydrogeologic collector; 4 — Argilloschists — hydrogeologic isolator; 5 — Fault; 6 — under — ground water table; 7 — collector — conductor; 8 — collector — reservoir.

Granica ove dve zone je praktično istražni horizont 430 m, rudna tela ispod ovog horizonta imaju poseban tretman. Dublji deo ležišta karakterišu veći hidrostatički pritisci, a kretanje izdanske vode je laminarno.

Izradom horizonta 430 m aktivirana je dinamika ovog dela izdani. Iz svih nezaglinjenih rasednih zona i pukotina vrši se intenzivno dreniranje izdanske vode, izdašnost uopšte nije zavisna od sezonskih kolebanja atmosferskih padavina (što je zapaženo na horizontu 580 m).

Prema P e t r o v i ć e v o j prognozi postoji latentna opasnost od proboja većih količina podzemne vode pod pritiskom iz sapete izdani trijaskog kolektora. U slučaju presecanja većeg raseda, koji bi probijao argilošiste, moglo bi doći do probijanja vode pod velikim subarterskim pritiskom. Autor je mišljenja da ova opasnost nije velika, budući da veći rasedi nisu poznati na površini ležišta, a veliki rased na horizontu 580 m ukazuje da su velike rasedne zone obično zaglinjene i same predstavljaju hidrogeološke izolatore.

ISTRAŽNI RADOVI

Poludetaljna radiometrijska prospekcija i geološko kartiranje, prerasle su preko strukturnog bušenja u istraživanje ležišta. Od 1961. godine ovo ležište se neprekidno istražuje. Proračunom rezervi, na osnovu istražnih radova zaključno sa 1968. godinom, završena je jedna faza istraživanja ležišta.

Metodika istraživanja ležišta

Osnovna metoda istraživanja ležišta urana Žirovski vrh je bušenje, koje je dalo osnovne parametre (debljine i sadržaje urana) za proračun rezervi. Rudarski radovi su prvobitno izvođeni za rešenje osnovnih pitanja načina pojavljivanja i veličine rudnih tela, kao i varijabilnost sadržaja urana (za potrebe korelacije rudonosnih intervala u bušotinama). Kasnije su rudarski radovi dobijali sve više karakter pripreme za bušenje.

Eksploataciono istraživanje rudnih tela probnim otkopavanjem rude predstavlja, u izvesnom smislu, istraživanje ležišta u poluindustrijskom smislu. Ovi eksperimenti su izvedeni kao dopuna detaljnom istraživanju ležišta, a služe za potrebe ekonomsko-tehničke analize i za proračun rezervi.

Bušenje je izvođeno po mreži i po profilima. U fazi strukturnog istraživanja ležišta bušeno je po osnovnoj mreži 400×400 m. Zbog nedostatka finansijskih sredstava, ovo bušenje je samo započeto; na perspektivnom delu terena odmah se pristupilo rudarskim radovima i bušenju iz jame. Kasnije je izvedeno nepotpuno pogušćenje bušenja, po mreži 200×200 do 50×50 m (kombinacija površinskog i jamskog bušenja — sl. 3).

Detaljno istraživanje ležišta izvođeno je po profilima. Bušeno je iz prečnih hodnika, već prema konkretnoj geološko-tektonskoj situaciji.

Opis istražnih radova

Zavisno od namene i cilja, primenjena je raznovrsna tehnika i dubina bušenja. Razlikujemo sledeće vrste bušotina:

1. *Duboke rotacione bušotine* (oznaka B-) su bušene sa površine terena (strukturne i ispitne bušotine), a locirane su po profilima (poprečni i izdužni strukturni) i po mreži najmanje gustine. Velika dubina bušotina (do 700 metara) i znatna površina ležišta onemogućili su bušenje po mreži 100×100 ili 50×50 metara. Izbušene su 44 strukturne i ispitne bušotine. Osnovni podaci o geološko-tektonskoj strukturi ležišta i položaja rudonosnih slojeva dobijeni su ovim bušenjem.
2. *Plitke rotacione bušotine* (oznaka b-) su bušene sa površine na mestima gde su indicirane geofizičke anomalije ili je raskopana sekundarna uranova mineralizacija. Najčešće se bušilo po mreži 50×50 metara (koja je često bila nepotpuna). Izbušene su 45 bušotine koje su nabušile vrlo malo orudnjenih intervala.
3. *Jamske rotacione bušotine* (oznaka V-) su bušene iz rudarskih radova na horizontu 580 m. Bušotine su locirane po profilima, odn. po nepotpunoj mreži 50×50 metara, kao pogušćenje mreže bušenja sa površine. Ovim bušenjem je istražen prostor između horizonata 430 i 580 m. Najveći broj podataka o rudi dobijen je ovim bušenjem. Do kraja 1968. godine bilo je izbušeno 55 bušotina.

   Sve rotacione bušotine su vertikalne. Devijacija bušotina merena je samo kod dubokih (B) bušotina.
4. *Jamske perkusivne bušotine* (oznaka J-) su bušene iz rudarskih radova: potkopa, hodnika, uskopa i otkopa. Perkusivno bušenje do 30 metara dubine je metoda detaljnog istraživanja ležišta (do sada samo I rudonosnog paketa). Bušeno je u svim pravcima, zavisno od konkretne geološke situacije. Veliku teškoću za ovu vrstu bušenja predstavlja zarušavanje zidova bušotine na tektonski oslabljenim delovima ležišta (rasedi, klivaž), što nekad onemogućava veću dubinu radioaktivnog karotiranja. Najveća dubina karotiranja postiže se kod vertikalnih ili malo kosih bušotina, te se takve bušotine najčešće buše na profilima. Na nekim profilima dubina karotiranja je nedovoljna, te je izvestan prostor ostao praktično neistražen (rezerve rude su smanjene). Do kraja 1968. godine izbušeno je 1.300 perkusivnih bušotina.

Detaljno je istraživan samo I rudonosni paket za dokazivanje rezervi viših kategorija. Horizont 580 m je otvoren jednim pristupnim potkopom (Pi), iz koga su izrađeni smerni hodnici ukupne dužine oko 1.800 m. Iz smernih hodnika izrađeni su poprečni hodnici, koji u stvari predstavljaju pripremu za detaljno istraživanje bušenjem (sl. 3 i 6). Međusobno rastojanje plitkih bušotina po profilu je 5 m (u rudonosnim slojevima — sl. 5), izuzetno je veća na mestima gde se nije očekivala pojava orudnjenja. Tada je bušeno na rastojanju 20 m.

Gustina istražnih profila, po pružanju ležišta, je veoma neujednačena, a zavisna je od stepena orudnjenosti konkretnog dela I rudonosnog paketa. Osnovno rastojanje među prečnim hodnicima (po Projektu V. O m a-

ljeva 1962) je 50 m. Delovi paketa koji su bolje orudnjeni (oko B-1 i od B-11 do B-18) istraženi su gušće na 25 m, a slabo orudnjeni prostor oko B-7 istražen je ređe, na 100 m. Naknadno je izvršeno pogušćenje jugozapadnog dela horizonta, oko bušotine B-7, na 50 metara.

Uranova mineralizacija je ređe direktno praćena rudarskim radovima na samom horizontu 580 m, rudna tela su najčešće ispod ili iznad nivoa horizonta. Da bi se rudna tela bolje upoznala izvedena su specijalna istraživanja delimičnim ili potpunim otkopavanjem pojedinih rudnih sočiva (V. Omaljev 1969b, 1971. i 1972). Ova specijalna istraživanja su dokazala mogućnost eksploatacije rude iz ovog ležišta. Rudna tela mogu biti znatnih dimenzija, sa rezervama 5 do 10 hiljada tona rude i sadržajima urana koji su dovoljni za eksploataciju (oko 0,1% U). I relativno malo povećana radioaktivnost u bušotini može da predstavlja značajno rudno telo. Poznati su slučajevi da je oko takvih bušotina bilo bogate rude.

Istražnim radovima okonturena je uranova ruda I rudonosnog paketa. Dužina orudnjenog prostora je oko 1.800 metara, a širina varira od 70—150 m. Stepen orudnjenosti je veoma varijabilan, posle znatno orudnjenog prostora oko bušotine B-1 dolazi relativno siromašan prostor oko B-7. Orudnjenje je najintenzivnije oko bušotine B-18.

Niže ležeći rudonosni nivoi istraženi su dubokim rotacionim bušotinama, koje su takođe nejednake gustine. Osnovna istražna mreža 50× ×50 metara je delimično izvedena i to samo na maksimalno orudnjenom delu ležišta, koji se »poklapa« sa maksimalno orudnjenim delom I paketa.

Metodika oprobavanja rude

Oprobavanje rude u ležištu urana Žirovski vrh vrši se metodama radiometrijskog oprobavanja. Metode hemijskog oprobavanja rude izvode se kao kontrolno oprobavanje, odnosno, ispitivanje osnovnih uslova za mogućnost primene radiometrijskih metoda.

Oprobavanje bušotina (rotacionih i perkusivnih) izvodi se kvantitativnom interpretacijom gama karotažnih dijagrama radioaktivnosti (N. Vukšić i M. Maravić). Hemijsko oprobavanje jezgra bušotina izvodi se samo povremeno kao kontrolno oprobavanje.

Metoda oprobavanja bušotina interpretacijom gama karotažnih dijagrama radioaktivnosti, proverena je statistički uzimanjem praha iz perkusivnih bušotina (V. Omaljev — u štampi b). Ovaj eksperiment je izveden tako da se na određenom intervalu bušotine uzimao prah, i taj isti interval je gama karotiran. Oprobavano je 51 bušotina. Rezultati dobijeni interpretacijom gama karotaža su u minusu u odnosu na rezultate oprobavanja praha i to ukoliko su sadržaji viši, neslaganja su takođe veća. Isprobane su dve sonde sa kojima se izvodi karotaž i obe su u minusu u odnosu na hemijsku probu praha (sredina 77%). Ako odbacimo 6 ekstremno visoke probe, sredina od 45 proba je sledeća: 1. sonda 96%, 2. sonda 104%, sredina 100% se potpuno poklapa sa hemijskom probom praha. Ova ispitivanja su dokazala pouzdanost gama karotaža kao metode oprobavanja rude.

Uran je približno u ravnoteži sa radijumom, sem u slučajevima sekundarne migracije prilikom supergenog raspadanja. U formulu interpretacije gama karotaža ne uvodi se popravka za neravnotežu urana i radijuma.

Prividna debljina rudnog intervala u bušotini određena je takođe metodom kvantitativne interpretacije gama karotaža, i to na dve decimale (do centimetra).

Prava debljina rudnog intervala u bušotini dobijena je redukcijom prividne debljine na ravan slojevitosti. Ugao redukcije je određen na osnovu podataka geološke interpretacije strukture na istražnim profilima. Ranije izračunavanje ugla pada rudnog tela matematičkom metodom na osnovu oblika dijagrama gama zračenja (N. V u k š i ć) je napušteno posle probnog otkopavanja rude, a ugao pada određuje se na osnovu pada slojeva (V. O m a l j e v). Slojevitost predstavlja strukturnu kontrolu uranove mineralizacije.

Sadržaj urana na rudnom intervalu izračunat je kvantitativnom interpretacijom gama karotažnih dijagrama na četiri decimale procenta (1 ppm). Sve probe su izračunate na sadržaj urana metala.

Dokumentacija kvantitativne interpretacije gama karotažnih dijagrama radioaktivnosti nalazi se na osnovnoj dokumentaciji svake bušotine (geološki profil i dijagrami radioaktivnosti sa interpretacijom) i čuva se u osnovnoj dokumentaciji. Prepisi oprobavanja bušotina prilažu se u Elaboratu proračuna rezervi (tabela 1).

KVALITET I TEHNOLOŠKE KARAKTERISTIKE RUDE

Uranova mineralizacija u ležištu Žirovski vrh je monomineralna, ne računajući rudu iz oksidacione zone. Rudni mineral je sitnozrna pehblenda, koja je razvijena u cementnoj materiji sivih peščara i konglomerata. Veličina pojedinih zrnaca pehblende je veoma mala, obično ispod 10 mikrona. Ukoliko je sadržaj urana u rudi viši, pehblenda je krupnozrnija, a u veoma bogatoj rudi prečnik zrna meri se stotinama mikrona.

Fizičke osobine i hemijski sastav rude

Uranova ruda ovoga ležišta fizički se ne razlikuje od okolne jalovine, jedino postoji razlika kod rude ekstremno visokih sadržaja urana. Ruda je po pravilu veoma čvrsta i tvrda i u prirodnom zaleganju nije sklona oburvavanju. Probno otkopavanje rude je izvođeno metodom komornog otkopavanja bez uvođenja zasipa.

Najznačajniji petrogeni sastojci rude su kvarc i odlomci kiselih vulkanskih stena, koji su dobro cementovani silicijsko-sericitskim cementom; intergranularna poroznost nije zastupljena. Zbog visokog sadržaja tvrdih petrogenih minerala, ruda daje veliki otpor pri drobljenju i naročito pri mlevenju. Otkopavanje rude vrši se brizantnim eksplozivima. Opitima je dokazana mogućnost primene autogenog mlevenja rude, koja ima prednosti naročito zbog malog priliva gvožđa.

Tabela 1

Prepis oprobavanja perkusivnih bušotina

PETA KNJIGA JAMSKIH PERKUSIVNIH BUŠOTINA

Red. broj	Bušotina	Izbušeno m	Karotirano m	Rudonosni intervali						
				Red. broj	Interval od-do m	Prividna debljina m		Prava debljina m	Sadržaj ppm U	Akumulacija m×ppm
1	J- 801	24,0	24,0	1	14,45—14,95	0,50	80	0,49	130	64
				2	18,60—19,15	0,55	80	0,54	272	147
					18,70—19,00	0,30	80	0,30	415	124
30	J- 830	20,0	19,0	58	2,70— 3,33	0,63	90	0,63	964	606
				59	4,50— 8,15	3,65	90	3,65	1280	4672
					4,50— 5,60	1,10	90	1,10	1700	1870
					6,95— 8,15	1,20	90	1,20	2150	2580
31	J- 831	23,0	23,0	60	15,20—15,44	0,24	80	0,24	87	21
32	J- 832	23,4	23,4	61	5,00— 5,78	0,78	90	0,78	507	395
				62	7,10— 9,50	2,40	90	2,40	1253	3007
					7,10— 7,75	0,65	90	0,65	1070	695
					8,60— 9,50	0,90	90	0,90	2380	2142
33	J- 833	18,0	17,1	63	4,00— 4,65	0,65	90	0,65	367	238
				64	7,20— 7,75	0,55	90	0,55	132	73
34	J- 834	15,0	13,0	65	6,60— 8,85	2,25	90	2,25	565	1270
					8,20— 8,85	0,65	90	0,65	915	595
41	J- 841	26,0	26,0							
43	J- 843	16,0	14,5	93	7,35— 7,65	0,30	70	0,28	222	62
				94	10,45—12,60	2,15	70	2,02	480	970
200	J-1000	26,0	26,0	394	9,45—10,50	1,05	90	1,05	356	374
					10,00—10,50	0,50	90	0,50	564	282
				395	19,30—19,60	0,30	90	0,30	218	65
								0,85	749	918
								1,30	1500	1998

Sredina: 166 bušotina; 395 intervala
Sredina: rudnih intervala; 105 bušotina; 173 rudna intervala
Izbušeno 200 bušotina (4057,6 m); karotirano 200 bušotina (3987,2 m)

decembar 1967.

Hemijski sastav rude dat je u tabeli 2.

Tabela 2

Kompletne kvalitativne hemijske analize rude*

Elementi	I	II	III	IV	V
U	0,1725	0,080	0,017	0,136	0,122
Th	—	0,0019	—	—	—
SiO_2	67,80	70,68	61,19	67,27	60,80
Al_2O_3	10,35	12,13	14,31	12,68	10,84
Fe_2O_3	0,86	1,31	2,80	2,20	1,60
Cr_2O_3	0,006				
TiO_2	0,43	0,39	0,46	0,48	0,35
FeO	1,76	0,97			
MnO			0,07	0,07	0,15
CaO	7,00	5,15	6,82	5,77	10,50
MgO	1,02	0,44	3,57	3,48	4,30
K_2O	1,86	2,12	2,21	1,67	1,97
Na_2O	0,10	2,55	0,93	0,58	0,83
S	0,13	0,15	0,06	0,04	0,06
As	0,02	0,0005			
P_2O_5	0,05	0,07	0,06	0,06	0,07
V	0,01	0,062			
Ge	0,002	0,0011			
Cd	tr.				
Rb	tr.				
Zr	0,007				
CO_2	3,25	2,91	5,81	3,88	8,20
Gub. žar	6,06	4,70	6,49	5,22	8,50

* I i II Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina — Beograd. III, IV i V Institut Jožef Štefan — Ljubljana.

Tehnološka svojstva rude

Hemijske osobine urana i mineraloški sastav rude zahtevaju primenu metode hidrometalurške prerade rude u tehnički koncentrat tzv. »žuti kolač«. Dalja tehnološka prerada koncentrata u finalni proizvod (npr. nuklearno gorivo) je predmet posebne industrije i ne dolazi u razmatranje ekonomsko-tehničkih uslova eksploatacije ležišta.

Rentabilnost prerade rude u tehnički koncentrat je veoma zavisno od sadržaja urana u rudi. Zato potpuna tehnološka šema prerade rude uključuje:

— *Radiometrijsku separaciju rude*

— *hidrometaluršku preradu u tehnički koncentrat*

Radiometrijska separacija rude je izvedena u poluindustrijskom obimu manjih razmera, uz probno otkopavanje rude (M. Grbović 1966). Utvrđena je kontrasnost rude kao preduslov za primenu radiometrijske separacije, ali Grbović smatra da autogeno mlevenje umanjuje kori-

snost njene primene. Ispitivanja kontrastnosti »in situ« (V. O m a l j e v 1967b i 1969b) autor smatra da se separacija može primeniti uz primenu metode masovnog otkopavanja rude.

Hidrometalurška prerada rude u tehnički koncentrat ispitana je samo u laboratorijskim uslovima*. Posmatrano sa aspekta prerade, razlikuje se oksidisana od neoksidisane, primarne, uranove rude.

Ruda iz oksidacione zone u kojoj se nalaze sekundarni uranovi minerali, luži se *alkalnim postupkom* bez nekih posebnih teškoća. Ruda sa primarnom mineralizacijom (pehblendom) bolje se luži *kiselim postupkom*. Alkalnim postupkom postignuto je maksimalno iskorišćenje 50—60%, a kiselim postupkom preko 90% (često oko 95%). Rudu je potrebno fino samleti da bi se uranova mineralizacija dovoljno otvorila. Utrošak sumporne kiseline je najčešće bio preko 100 kg/t, kasniji eksperimenti su smanjili utrošak kiseline, nekad ispod 50 kg/t. Štetne materije u rudi su karbonati (sulfida je količinski malo) i elementarno gvožđe (koje dolazi u samlevenu rudu od mlina).

PRORAČUN RUDNIH REZERVI

Za potrebe ekonomsko-tehničke analize autor je izvršio *Prethodni proračun rezervi* ležišta urana Žirovski vrh (septembar, 1965); tada nije postojalo *Uputstvo*, te tom prilikom nije izvršena klasifikacija ležišta, niti kategorizacija rezervi. Za detaljno istraženi deo I rudonosnog paketa primenjena je metoda paralelnih profila, a za ostali deo ležišta metoda geoloških blokova. Za potrebe prethodnog proračuna izmerena je zapreminska težina i vlažnost 10 uzoraka rude. Utvrđeno je da zapreminska težina rude ne zavisi od sadržaja urana (tabela 3). Za ovaj proračun uzeta je aritmetička sredina ovih uzoraka za zapreminsku težinu 2,95 t/m³, a prirodna vlažnost je zanemarena. Debljina rudnog tela dobijena je ponderisanom

Tabela 3

Zapreminska težina i prirodna vlažnost rude

Mesto uzimanja probe	Sadržaj U %	Zapreminska težina t/m³	Prirodna vlaga %
Otkop H-1	0,170	2,86	0,52
Hodnik Pi-1	2,960	2,76	0,13
Hodnik Pi-5	0,860	3,26	0,54
Hodnik O_1-P	0,035	2,80	0,46
Otkop O_1-P	0,070	2,78	0,21
Hodnik H-2162	0,960	3,13	0,79
Hodnik H-2162	0,025	2,94	0,20
Hodnik H-220	0,156	2,88	0,56
Otkop H-291II	0,017	3,38	0,37
Otkop H-291III	0,700	2,72	0,46
Sredina	0,395	2,95	0,42

* U Institutu za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina. Beograd.

sredinom, odn. aritmetičkom sredinom u slučaju kada su bušotine na približno jednakom rastojanju. Srednji sadržaji urana uvek su računati ponderisano.

Godine 1967. Savezna komisija za nuklearnu energiju donela je *predlog Uputstva za klasifikaciju i kategorizaciju rezervi ruda urana*. Ono nije zvanično stupilo na snagu, ali je bilo primenjeno u praksi. Postojanje jednog ovakvog Uputstva reguliše sistem istraživanja ležišta urana. Nažalost, detaljno istraživanje na horizontu 580 m bilo je već pri kraju tako da je zadržan, posle izvršenih analiza, dosadašnji sistem istraživanja uključujući i istraživanje ležišta po dubini (V. O m a l j e v — u štampi a).

Marta meseca 1968. godine izvršen je probni, nezvanični, proračun rezervi rude sa stanjem radova zaključno sa 1967. godinom, rađen po predlogu Uputstva. Izvršena je klasifikacija i kategorizacija rezervi ležišta. Za ovaj proračun uzeta je zapreminska težina 2,9 t/m^3, a ostali parametri kao i za prethodni proračun.

Februara meseca 1969. godine autor je, u okviru godišnjeg izveštaja za 1968. godinu, uradio *Elaborat o klasifikaciji, kategorizaciji i proračun rudnih rezervi ležišta*. Ovo je prvi zvanični proračun rezervi ležišta Žirovski vrh i sa tim je praktično završena jedna faza istraživanja, a sledećih godina istraživanje se vrši u cilju prekategorizacije rezervi, odn. prevođenjem rezervi rude iz kategorije C_2 u kategoriju C_1.

U nedostatku zvaničnog Uputstva, elaborat je urađen po kriterijumima predloga Uputstva za klasifikaciju i kategorizaciju rezervi ruda urana, koje je interno izdala SKNE 1967. godine (dalje pominjanje Uputstva odnosi se na ovaj predlog).

Klasifikacija rudnog ležišta

Ležište urana Žirovski vrh deponovano je u sedimentnim stenama sa jasnom stratigrafsko-litološkom kontrolom (sivi peščari i konglomerati sive gredenske serije srednjopermske starosti).

Uranova mineralizacija je lokalizovana u rudna tela sočivastog oblika pojavljivanja koja slede slojevitost kao strukturnu geološku kontrolu. Površina ležišta meri se u km^2, a debljina orudnjenog intervala (pojas mineralizacije) meri se stotinama metara.

Po Uputstvu, u I grupu ležišta urana dolaze slojevita singenetska ležišta u sedimentnim stenama, sa velikim rudnim telima čije se površine mere desetinama km^2, a debljina orudnjenih slojeva je više metara. U II grupu dolaze ležišta sa velikim rudnim telima u obliku sočiva, površine desetine do stotine hiljada m^2 i debljine do 10 metara. U III grupu dolaze štokverkna i žična ležišta urana. U IV grupu dolaze ležišta sa relativno malim rudnim telima sočivastog oblika pojavljivanja, koja se nalaze u sedimentnim serijama sa jasnom stratigrafskom kontrolom. Površine uranonosne serije mogu biti više stotina hiljada m^2, a debljina više desetina metara. Rudna sočiva su nepravilnih oblika, relativno mala (stotine do nekoliko hiljada m^2), sa promenljivom debljinom (nekoliko decimetara do nekoliko metara). U V grupu dolaze ležišta sa malim rudnim telima vezanim za sisteme prslina u zonama razlamanja i tanke žice.

Na osnovu do sada izloženih podataka o ležištu utvrđeno je da ležište urana Žirovski vrh pripada IV grupi uranovih ležišta.

Kategorizacija rudnih rezervi ležišta

Kategorizacija rezervi rude i urana ovoga ležišta nije bilo potpuno u skladu sa Uputstvom.

Stepen istraženosti ležišta je određen vrstom i gustinom mreže istražnih radova, načinom i gustinom oprobavanja, poznavanjem kvaliteta i tehnoloških osobina rude, a takođe i dobrim poznavanjem hidrogeoloških prilika i rudarsko-tehničkih uslova eksploatacije rude.

Ukoliko rezerve ne ispunjavaju sve propisane uslove predviđene za konkretnu kategoriju, razvrstavaju se u sledeću nižu kategoriju, iako je gustina istražnih radova zadovoljavajuća za višu. Ovaj uslov je veoma značajan za ležište Žirovski vrh, jer nepostojanje opita tehnološke prerade rude u tehnički koncentrat u industrijskom ili poluindustrijskom obimu ne dozvoljava višu kategoriju od C_1. Da bi stvarna istraženost ležišta došla do izražaja, odstupilo se od Uputstva uvođenjem kategorija rezervi C_1(A) i C_1(B).

Zaključno sa 1968. godinom stepen istraženosti ovoga ležišta bio je veoma različit za pojedine njegove delove. Jedino detaljno istraženi deo ležišta na horizontu 580 m zadovoljava uslove gustine istraženosti za više kategorije rezervi.

Rezerve C_1(A) kategorije

Rezerve A kategorije za IV grupu uranovih ležišta se ne dokazuju normalnim istražnim radovima. Međutim, izuzetno gustim rudarskim radovima prilikom probnog otkopavanja rude, ostvaren je stepen istraženosti za A kategoriju. Pošto nisu ostvareni svi potrebni uslovi za ovu kategoriju (tehnologija prerade rude u industrijskom ili poluindustrijskom obimu), ove rezerve su uvrštene u C_1(A) kategoriju. Na ovaj način je omogućen uvid u stvarno postignuti stepen geološko-rudarske istraženosti ležišta Žirovski vrh. Količina ovih rezervi je mala i ima simbolično značenje.

Rezerve C_1(B) kategorije

Najveća postignuta gustina istraženosti je na 25 metara rastojanja između paralelnih istražnih profila perkusivnog bušenja, koji je postignut oko bušotine B-1 i između bušotina B-11 i B-18. Perkusivne bušotine su ustvari pojedinačne probe (kada bi se ruda nalazila u hodniku), a nalaze se na međusobnom rastojanju 5 metara. Dalji tretman bazira na analogiji sa istražnim hodnikom u kome je gustina oprobavanja 5 metara. Ova gustina istraženosti, uz poseban uslov o veličini stepena neravnomernosti sadržaja urana, zadovoljava uslove za rezerve B kategorije. Nepostojanjem drugih uslova (tehnologija prerade rude u poluindustrijskom obimu), ove rezerve su uvrštene u kategoriju C_1(B) i kao takve posebno izračunate. Količina ovih rezervi je značajna za ležište.

lacije svih nivoa na detaljnom profilu. Za rezerve rude uzet je proizvod ukupne količine materijala sa popravnim koeficijentom, koji ima karakter koeficijenta rudonosnosti (zapreminskog).

Za prethodni proračun rezervi (1965) primenjena je klasična metoda paralelnih profila. Rezerve su računate za svako rudno sočivo posebno. Na najvećem delu horizonta 580 m bio je slučaj da se konkretno rudno telo ne nastavlja na sledećem profilu bušenja. Kontinuitet I rudonosnog paketa postoji, postoje i rudna tela na susednim profilima, ali najčešće drugo sočivo. Zato je za probni proračun rezervi (1968) ponovo primenjena statistička varijanta metode paralelnih profila. Računa se statistička količina rude u okviru kontura na detaljnim profilima perkusivnog bušenja. Kao poboljšanje metode uvedene su linijske rezerve u proračun. Na taj način dobija se tačan proračun na liniji profila, a rezerve u bloku su samo statistički verodostojne. Ista metodologija je primenjena i za proračun rezervi (1969) i ona će biti detaljnije prikazana u sledećem odeljku.

Primenjena metoda proračuna

U ovom poglavlju ograničićemo se samo na proračun rezervi detaljno istraženog dela ležišta. Način istraživanja profilima predodredio je primenu metode paralelnih profila.

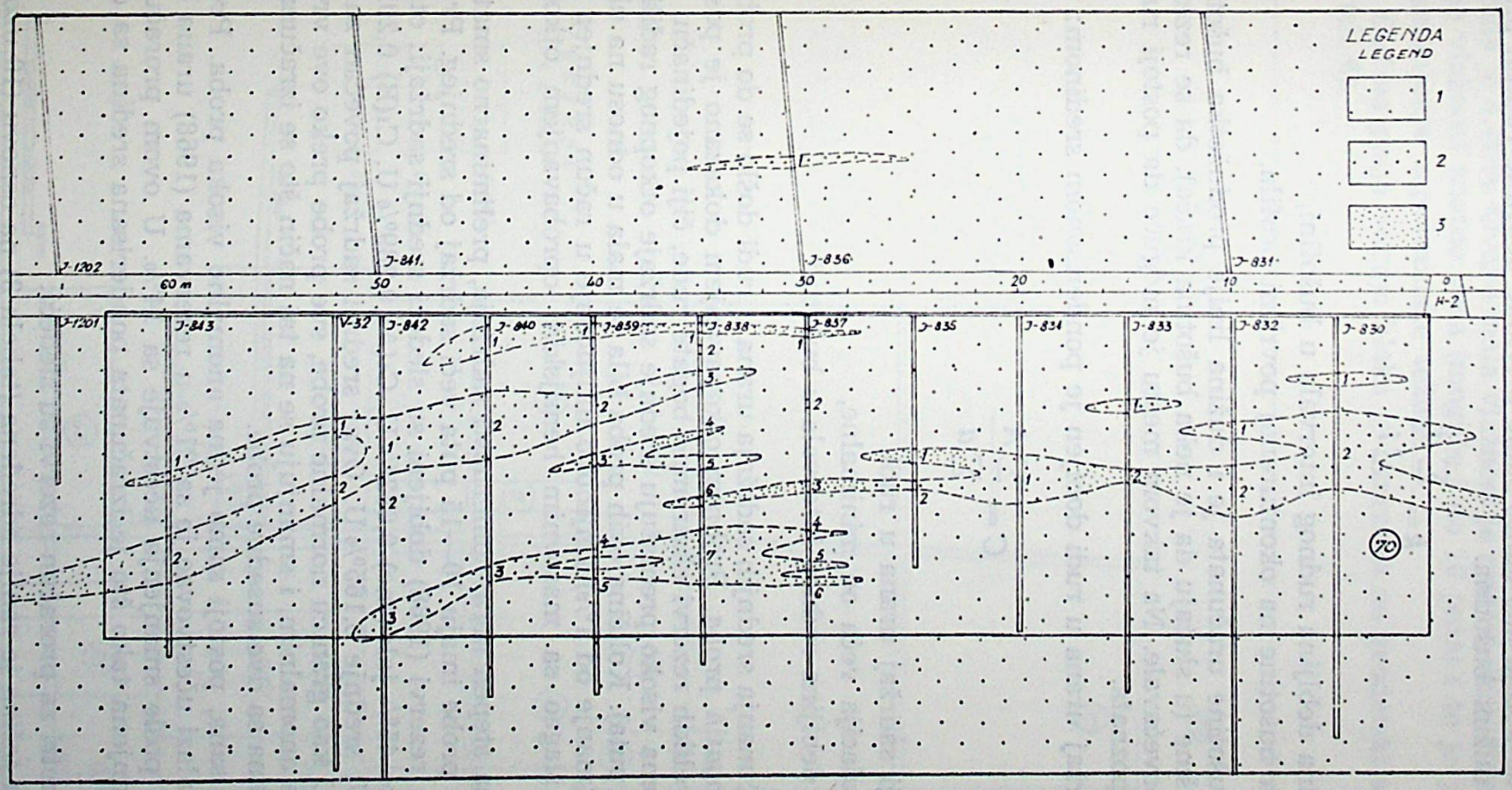
Svaki detaljni profil jamskog perkusivnog bušenja zamenjuje se, na osnovu analogije, sa hodnikom; bušotine dobijaju funkciju probe, koja preseca rudno telo poprečno, tj. u pravcu maksimalne promenljivosti sadržaja. Da je tako predstavljanje opravdano dokazano je probnim otkopavanjem, odn., eksploatacionim istraživanjem veličine, oblika i sadržaja urana većeg broja rudnih tela (V. O m a l j e v 1969b, 1971. i 1972).

Osnovni parametri za proračun rudnih rezervi ležišta su sledeći:

Minimalni sadržaj urana u probi je 0,03% U, a to je u stvari granični sadržaj razdeobe rude i jalovine pri probnom otkopavanju. Ispod ove granice mineralizacija se smatra jalovinom.

Minimalna debljina je definisana preko *minimalne akumulacije* (akumulacija je sadržaj U u ppm na 1 m debljine). Granični sadržaj razdeobe 300 ppm na 0,5 m debljine (koja se praktično može otkopavati) daje vrednost minimalne akumulacije 150.

Na osnovu ova dva kriterijuma, na profilima je pravouglo okonturena površina, na kojoj postoje rudna sočiva, za računanje rezervi (sl. 5). Probnim otkopavanjem je utvrđeno da kontinuitet rudnog sočiva po pružanju može biti veoma različit, a retko je veći od 10 metara. Međutim, postoje rudna sočiva koja nisu pronađena na profilima. Profil bušenja je slučajan presek rudnog bloka (formiranog poljem uticaja) koji dobro reprezentuje blok. Zato se odstupilo od klasičnog načina proračuna konkretnog rudnog tela, što je primenjeno u prethodnom proračunu 1965. g. Autor je razradio varijantu statističkog proračuna rezervi, preko uvođenja pojma *»iskopina«*, koji je definisan prilikom probnog otkopavanja kao ukupna količina materijala koji obuhvata rudu i okolnu jalovinu, u okviru pravougle konture. Kod ove metode otpada potreba računanja srednje debljine rudnog tela.



Sl. 5 — Detalj poprečnog profila za proračun rezervi.
1 — sivi peščar; 2 — ruda urana; 3 — mineralizacija urana.

Fig. 5 — Detail of the cross-section for the calculation of ore reserves.
1 — Gray sandstone; 2 — Uranium ore; 3 — Uranium mineralization.

Da bi se dobila količina rude, iskopina se množi sa popravnim koeficijentom k, koji se dobija kao odnos sume prividne debljine rudnih proba prema ukupnoj dužini bušotina.

$$k = \frac{\sum d'}{\sum l}$$

gde je:

d' — prividna debljina rudnog intervala u bušotini,

l — dužina bušotine na okonturenoj površini profila.

U dužinu bušotine uračunata je i dužina linije produžetka bušotine do konture površine (u slučaju da je neka bušotina kraća), da se rezerve ne bi veštački povećavale. Na takvom mestu je moguće da postoji ruda, koja nam je nepoznata.

Srednji sadržaj urana u rudi dobijen je ponderisanom sredinom:

$$C = \frac{\sum A}{\sum d}$$

gde je:

C — srednji sadržaj urana u rudi,

A — akumulacija veća od minimalne,

d — prava debljina rudnog intervala u bušotini.

Prilikom računanja srednjih sadržaja urana u rudi došlo se do problema *anomalno bogatih proba*. Probnim otkopavanjem dokazano je postojanje relativno velikih rezervi ekstremno bogate rude, čiji pojedinačni sadržaji proba veoma visoko premašuju srednje sadržaje otkopnog radilišta (nekad preko 20 puta). Količina ovih proba bila je mala u odnosu na ukupan broj proba (manje od 1%) i njihovo uključenje u račun srednjeg sadržaja dobro se slagao sa masovnim hemijskim oprobavanjem otkopane rude.

S obzirom na stepen neravnomernosti sadržaja, preliminarno smatramo da anomalne probe imaju 10—15 puta veći sadržaj od srednjeg. Probnim proračunom rezervi (1968) dobijeni su sledeći srednji sadržaji: otkopana ruda (sa oko 45% jalovine) 0,082% U, C_1(A) 0,289% U, C_1(B) 0,202% U i C_1 0,118% U; srednje 0,165% U. Ovaj srednji sadržaj povećan za 15 puta daje 2,5% U kao granicu normalne probe, sve probe preko ove vrednosti smatraju se anomalnim, i smanjuju se na taj način što se izračunava ponderisana sredina sa dve susedne probe.

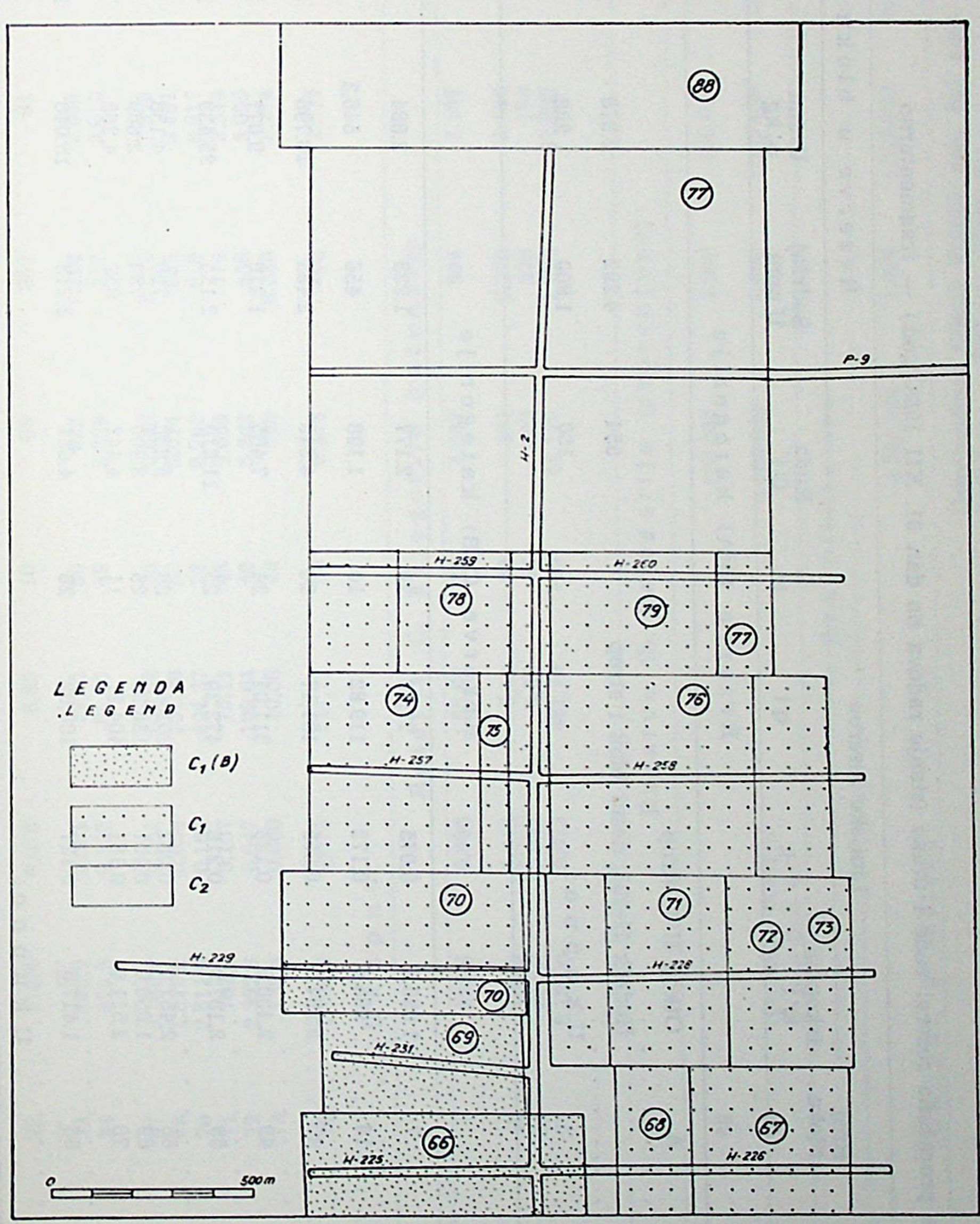
Ovako definisana, postoji samo jedna anomalno visoka proba. Profil u kome se ona nalazi učestvovao je sa 21% u rezervama (1968) urana kategorije C_1(B), a posle smanjenja učestvuje sa 14%. U ovom proračunu ova proba je smanjena tako što je izračunata ponderisana sredina sa dve susedne probe.

Ostali parametri za proračun rezervi su sledeći:

Zapreminska težina je ranije određena (tabela 3) na osnovu (10 uzoraka, sredina je 2,9 t/m³. Dok se ovi podaci ne provere uzimanjem velikog broja proba, za proračun se uzima 2,7 t/m³.

Vlažnost rude je takođe određena preliminarno na istim uzorcima, a sredina je 0,42%. Ovako mala vlažnost je zanemarena. Postoji verovatnoća da je vlažnost znatno veća (moguće i do 10 puta) i to je jedan od razloga za smanjenje zapreminske težine.

Dužina polja uticaja bloka je izmerena na geodetski snimnjenom planu (sl. 6).



Sl. 6 — Detalj karte blokova.

Fig. 6 — Detail of the map of blocks.

Tabela 5

Tabela proračuna rezervi rude i urana (stanje radova na dan 31. XII 1968. god.) — fragmentarno

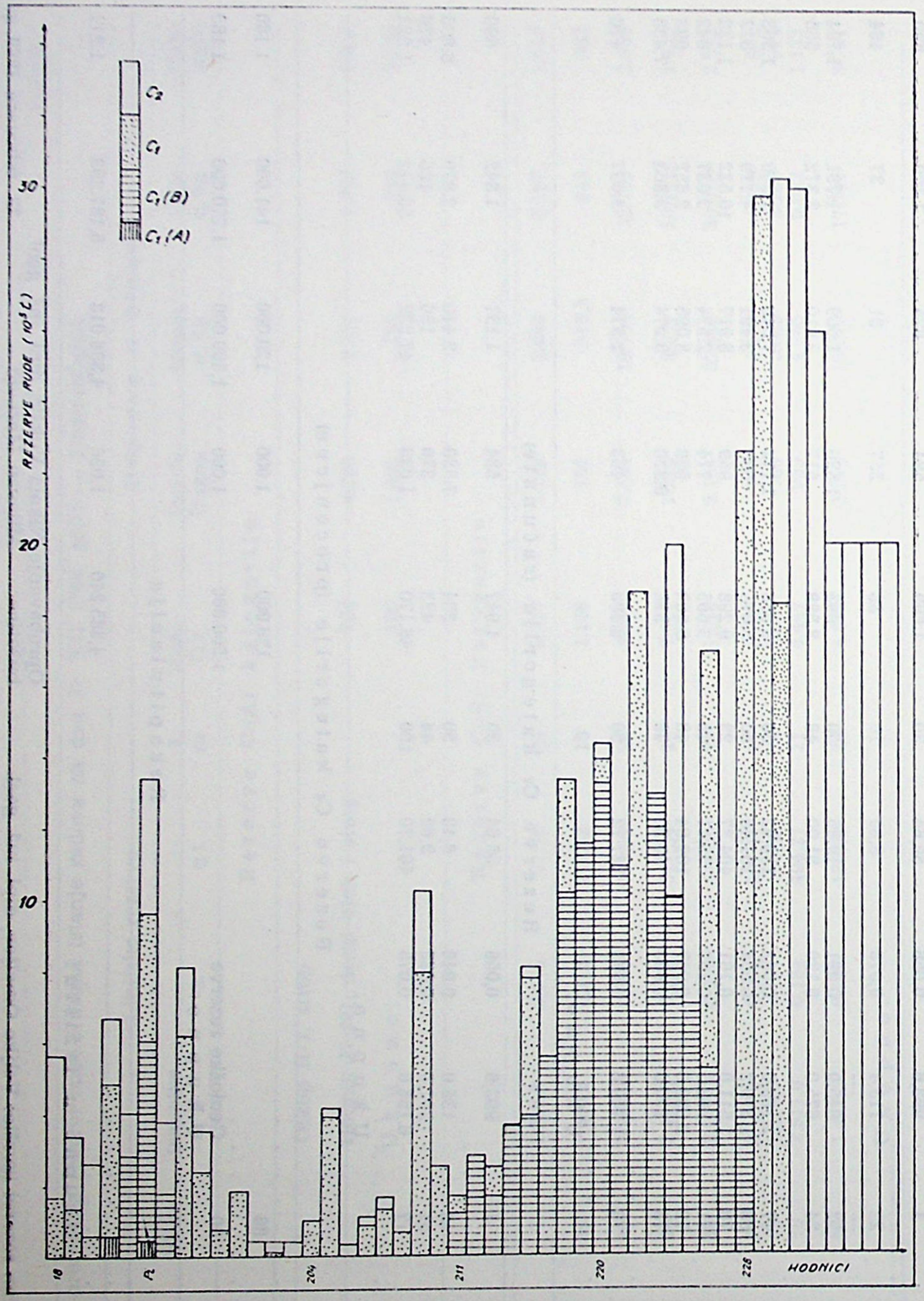
Redni broj	Broj bloka	Linijske rezerve: Iskopina q' t	k	q t	L m	Rezerve u bloku: Ruda Q t	Sadržaj U ppm	Urana q_u kg	U_3O_8 q_t kg	U_3O_8 ppm
						Rezerve $C_1(A)$ kategorije				
1	A	Otkop H-1, strop								
. . . . .										
5		Hodnik H-291, desni blok i strop				554	4.292	2.378	2.804	5.061
. . . . .										
		U k u p n o :				160	1.800	288	340	2.125
						Rezerve $C_1(B)$ kategorije				
11	7	1.036,8	0,075	77,76	28	2.177	1.233	2.684	3.167	1.455
. . . . .										
17	14	696,6	0,172	119,82	10	1.198	456	546,3	645	537
. . . . .										
23	45	3.294,0	0,055	181,17	24	4.348	2.483	10.796	12.739	2.930
. . . . .										
26	49	2.430,0	0,128	311,04	24	7.465	1.216	9.077	10.711	1.435
. . . . .										
30	59	2.187,0	0,216	472,39	25	11.810	2.154	25.439	30.018	2.542
. . . . .										
35	66	2.457,0	0,082	201,47	26	5.233	790	4.138	4.883	933
36	69	1.350,0	0,101	136,35	25	3.409	783	2.669	3.150	924
37	70	2.511,0	0,161	404,27	11	4.447	959	4.265	5.032	1.132
. . . . .										
44	53	1.417,5	0,127	180,02	26	4.681	3.213	15.040	17.747	3.791
. . . . .										
		U k u p n o :								

Rezerve C_1 kategorije										
48	1	993,6	0,056	55,64	30	1.669	584	975	1.150	690
. . . . .										
62	22	113,4	0,078	8,85	10	88	357	31	37	464
63	—	—								
64	23	945,0	0,021	19,85	50	993	1.520	1.509	1.781	1.794
65	24	675,0	0,120	81,00	48	3.888	517	2.010	2.372	585
. . . . .										
88	67	2.160,0	0,062	133,92	50	6.696	1.172	7.848	9.260	1.383
89	68	1.879,2	0,054	101,48	50	5.074	688	3.491	4.119	812
90	70	2.511,0	0,161	404,27	23	9.298	959	8.917	10.522	1.132
91	71	702,0	0,107	75,11	48	3.605	714	2.574	3.037	842
92	72	2.332,8	0,047	109,64	48	5.263	588	3.095	3.652	693
93	73	135,0	0,080	10,80	48	518	6.320	3.274	3.863	7.458
. . . . .										
96	76	1.749,6	0,073	127,72	50	6.386	403	2.574	3.037	476
. . . . .										
Ukupno:										
Rezerve C_2 kategorije (računate)										
100	1	993,6	0,056	55,64	35	1.947	584	1.137	1.342	690
. . . . .										
106	43	135,0	0,048	6,48	50	324	7.530	2.440	2.879	8.885
107	51	291,6	0,033	9,62	44	423	370	156	185	426
108	77	6.156,0	0,075	461,70	100	46.170	1.036	47.832	56.442	1.222
. . . . .										
Ukupno:										
Rezerve C_2 kategorije (procenjene)										
. . . . .										
113	88				120.000	1.000	120.000	141.600	1.180	
. . . . .										
115	90	Geološke rezerve			1,500.000	1.000	1,500.000	1,770.000	1.180	
		Ukupno:								
Rekapitulacija										
. . . . .										
. . . . .					4,285.240	1.026	4,396.013	5,187.293	1.211	
		Ukupno u ležištu:								

Proračun rezervi izvršio: Veljko Omaljev, dipl. inž. geol.

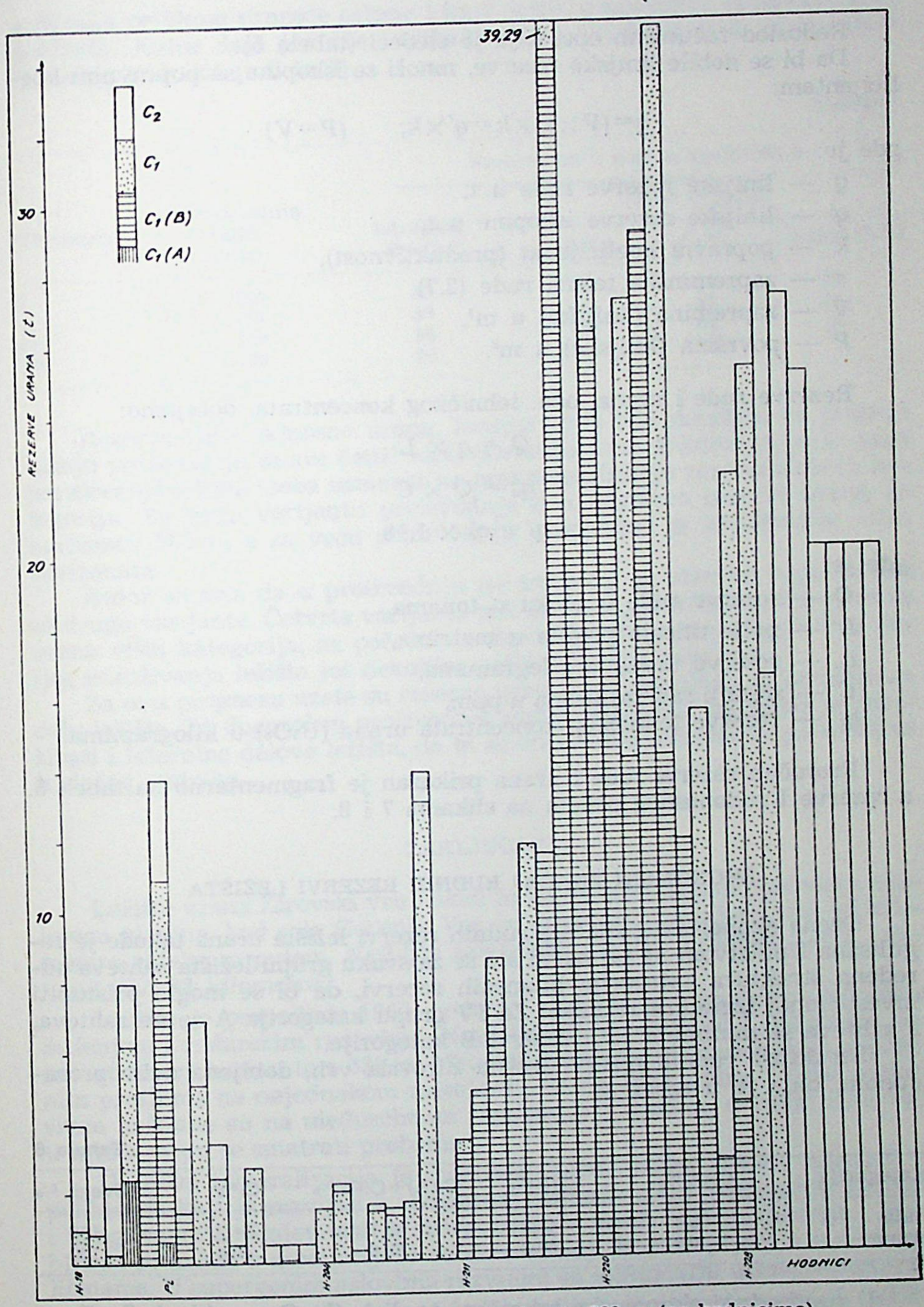
Oprobavanje bušotina: Nikola Vukšić, dipl. inž. geol.
Milovan Maravić
Veljko Omaljev, dipl. inž. geol.

23. februara 1969. g.
Gorenja Vas



Sl. 7 — Histogram rezervi rude horizonta 580 m (po hodnicima).

Fig. 7 — Hystogram of the ore reserves of the level 580 m (along galleries).



Sl. 8 — Histogram rezervi urana horizonta 580 m (po hodnicima).

Fig. 8 — Hystogram of the reserves of uranium of the level 580 m (along the galleries).

Redosled računskih operacija je sledeći (tabela 5):

Da bi se dobile linijske rezerve, množi se iskopina sa popravnim koeficijentom:

$$q=(V\times s)\times k=q'\times k; \qquad (P=V)$$

gde je:

q — linijske rezerve rude u t,
q' — linijske rezerve iskopine u t,
k — popravni koeficijenat (produktivnost),
s — zapreminska težina rude (2,7),
V — zapremina (linijska) u m^3,
P — površina (linijska) u m^2.

Rezerve rude i urana, odn. tehničkog koncentrata, dobijamo:

$$Q = q \times L$$

$$q_u = Q \times C$$

$$q_t = q_u \times 1{,}18$$

gde je:

Q — rezerve rude u bloku u tonama,
L — polje uticaja profila u metrima,
q_u — rezerve urana u kilogramima,
C — srednji sadržaj urana u ppm,
q_t — rezerve tehničkog koncentrata urana (U_3O_8) u kilogramima.

Proračun rezervi rude i urana prikazan je fragmentarno na tabeli 5. a rezerve I rudonosnog paketa na slikama 7 i 8.

EKONOMSKI ZNAČAJ RUDNIH REZERVI LEŽIŠTA

Ocena ekonomskog značaja rudnih rezervi ležišta urana takođe je regulisana Uputstvom na taj način što se za svaku grupu ležišta zahteva određena struktura kategorija bilansnih rezervi, da bi se moglo pristupiti investicionoj izgradnji rudnika. Za IV grupu kategorija A se ne zahteva, a zahteva se minimum 15% rezervi B kategorije.

Struktura rudnih rezervi ležišta Žirovski vrh, dobijena ovim proračunom, data je u tabeli 6.

Tabela 6

Kategorija	C_1(A)%	C_1(B)%	C_1(A)+C_1(B)%	C_1%	Svega %
ruda	0,4	45,3	45,7	54,3	100
urana	0,8	58,8	59,6	40,4	100

U prethodnoj ekonomsko-tehničkoj analizi (I. Gornik i S. Ralić 1966) razrađene su dve varijante kapaciteta proizvodnje budućeg rudnika. Sadržaji urana u rudi treba da su relativno visoki, tako da posle

gubitaka prilikom prerade ostane 1 kg/t urana u produktu tehničkog koncentrata. Autor daje još dve varijante (III i IV) kapaciteta proizvodnje budućeg rudnika (tabela 7).

Tabela 7

Varijanta	Proizvodnja rude t/dan	Rezerve za 5 godina proizvodnje			
		Istraženo B+C₁ %	Treba istražiti		
			B %	C₁ %	I paket C₁ %
I	300	71	0	29	29
II	400	53	0	47	24
III	600	36	0	64	16
IV	1.000	26	0	74	12

Rezerve rude, odnosno urana, kategorije B ima dovoljno za petogodišnju proizvodnju za sve četiri varijante kapaciteta. Evidentno je da dalja istraživanja ležišta treba usmeriti na prekategorizaciju rezervi C_2 u C_1 kategoriju. Za prvu varijantu proizvodnje ima dovoljno rezervi urana na horizontu 580 m, a za veću proizvodnju neophodno je istraživanje nižih horizonata.

Autor smatra da u proizvodnju ne treba ići sa manjim kapacitetom od druge varijante. Četvrta varijanta pak zahteva još tri puta veće rezerve urana viših kategorija, za početak proizvodnje. Evidentna je potreba daljeg istraživanja ležišta još nekoliko godina, što je i učinjeno.

Za ovu prognozu uzete su rezerve urana koje se nalaze na centralnom delu ležišta. Za dugoročnu proizvodnju većeg kapaciteta potrebno je istraživati i lateralne delove ležišta, da bi se obezbedila dugoročna perspektiva budućeg rudnika.

ZAKLJUČAK

Ležište urana Žirovski vrh nalazi se na severoistočnim padinama istoimene planine, kod sela Gorenja Vas, udaljeno od Ljubljane oko 45 kilometara asfaltnim putem. Najbliža železnička stanica je Škofja Loka, udaljena oko 22 kilometra.

Ležište je pronađeno 1960. godine i od tada se neprekidno istražuje bušenjem i rudarskim radovima. Najdetaljnije je istražen I rudonosni paket istražnim horizontom 580 m. Metoda istraživanja je bušenje po poprečnim profilima na nejednakom rastojanju, 25 do 100 metara. Plitke perkusivne bušotine su na međusobnom rastojanju 5 metara, a rudni intervali u njima mogu se smatrati probama.

Uranova mineralizacija je monomineralna, jedini uranov mineral je pehblenda koji je razvijen u cementnoj materiji sivih gredenskih peščara i konglomerata. Slojevitost je strukturna kontrola mineralizacije. Pehblenda se nalazi u asocijaciji sa sulfidima, koji su zastupljeni u malim količinama. U supergenim uslovima razvijeni su sekundarni uranovi minerali.

Ležište Žirovski vrh pripada tipu infiltracionih epigenetskih ležišta urana u peščarima, srednje veličine.

Izvršeno je probno otkopavanje rude koje ima karakter istraživanja uslova eksploatacije rude u poluindustrijskom obimu. Otkopana ruda je masovno hemijski oprobavana. Izveden je opit radiometrijske separacije i autogenog mlevenja otkopane rude.

Tehnološka prerada rude u tehnički koncentrat ispitana je samo u laboratorijskim uslovima, nedostaje poluindustrijski eksperimenat.

Hidrogeološke prilike u ležištu neće predstavljati smetnju za eksploataciju rude. Istražni radovi na horizontu 580 m nalaze se u nadizdanskoj zoni, a niži rudni nivoi najčešće se nalaze u zoni stalnih podzemnih voda, čija je prirodna cirkulacija sprečena hidrogeološkim izolatorom (argilošisti). Odvodnjavanje ležišta iznad horizonta 430 m moguće je prirodnim padom.

Prethodnom ekonomsko-tehničkom analizom proizvodnje urana iz ležišta utvrđena je mogućnost ekonomične eksploatacije uranove rude.

Klasifikacija ležišta, kategorizacija i proračun rezervi rude i urana izvršena je po postavkama predloga Uputstva za klasifikaciju i kategorizaciju rezervi ruda urana, koje je interno izdala SKNE 1967. godine. Proračun je izvršen sa stanjem radova na dan 31. XII 1968. godine. Ovim proračunom završena je jedna faza istraživanja ležišta.

Ležište Žirovski vrh pripada IV morfološkoj grupi uranovih ležišta. Za ovu grupu normalnim istraživanjem se ne dokazuju rezerve A kategorije, a investicionoj izgradnji pristupa se na bazi rezervi B i C_1 kategorije.

Osnovni parametri za proračun rezervi dobijeni su kvantitativnom interpretacijom gama karotažnih dijagrama bušotina. Vršena je stalna kontrola i eksperimenti za ispitivanje osnovnih uslova za primenu ove metode oprobavanja rude.

Primenjena je metoda paralelnih profila za proračun viših kategorija rezervi. Autor je razradio varijantu statističkog proračuna rezervi ovom metodom, koja najbolje odgovara konkretnim montan-geološkim uslovima ležišta.

Zbog nedostatka poluindustrijskog opita tehnološke prerade rude u ležištu ne može biti viših kategorija rezervi od C_1. Pojedini delovi ležišta su gušće istraženi, te su odgovarajuće rezerve privremeno svrstane u C_1(A) i C_1(B) kategorije.

Rezerve niže (C_2) kategorije su procenjene na osnovu rezultata bušenja po mreži. Procena je izvršena metodom geoloških blokova.

Utvrđen je ekonomski značaj rudnih rezervi viših kategorija. Da bi se pristupilo izgradnji rudnika i postrojenja za preradu treba obezbediti rezerve za petogodišnju proizvodnju. Analizirano je četiri varijante kapaciteta proizvodnje. Rezerve B kategorije su obezbeđene za sve četiri varijante. Treba još obezbediti rezerve C_1 kategorije, zavisno od kapaciteta proizvodnje, od 29—74%, u odnosu na ukupne petogodišnje rezerve.

(Predato za štampu novembra 1973. god.)

LITERATURA

1. Gornik I. i Ralić S., 1966: — Prethodna ekonomsko-tehnička analiza proizvodnje urana iz rudnog ležišta Gorenja Vas. Fond stručne dokumentacije IGRI. Beograd.
2. Grbović M., 1966: — Oprobavanje i radiometrijska separacija rude »Gorenja Vas«. Fond stručne dokumentacije Instituta za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd.
3. Ivanović Đ., 1961: — Regionalna i detaljna prospekcija permskih gredenskih peščara u okolini Idrije, Cerkna, Žirija i Gorenje Vasi (Slovenija). Fond stručne dokumentacije IGRI, Beograd.
4. Janković S., 1957: — Oprobavanje i proračun rezervi mineralnih sirovina, Beograd.
5. Janković S., 1965: — Ležišta urana u Jugoslaviji. Tehnika, Rudarstvo, geologija i metalurgija (877—884). Beograd.
6. Jokanović V., Omaljev V. i Pavlović, A., 1964: — Istraživanje ležišta Žirovski vrh u 1963. godini. Fond stručne dokumentacije IGRI. Beograd.
7. Mlakar I., 1967: — Primerjava spodnje in zgornje zgradbe idrijskega rudišča. Geologija, razprave in poročila, 10. knjiga. Ljubljana.
8. Mlakar I., 1969: — Krovna zgradba idrijsko-žirovskega ozemlja. Geologija, razprave in poročila, 12. knjiga. Ljubljana.
9. Omaljev V., 1963: — Perspektivnost pojava uranove mineralizacije na Žirovskom vrhu na bazi dosadašnjih prospekciono-istražnih radova. Fond stručne dokumentacije IGRI. Beograd.
10. Omaljev V., 1965: — Ležište uranijuma Žirovski vrh. Nuklearna energija 3/65. Beograd.
11. Omaljev V., 1966: — Detaljno istraživanje I rudonosnog paketa u ležištu uranijuma Žirovski vrh. Nuklearna energija 5/66. Beograd.
12. Omaljev V., 1967a: — Razvoj gredenskih slojeva i uranove mineralizacije u ležištu urana Žirovski vrh. Radovi IGRI, sveska 3, Beograd.
13. Omaljev V., 1967b: — Korelacija slojeva u ležištu urana Žirovski vrh. Radovi IGRI, sveska 3, Beograd.
14. Omaljev V., 1967c: — Kontrasnost uranijumovih ruda. Nuklearna energija 6/67, Beograd.
15. Omaljev V., 1969a: — Istraživanje ležišta urana Žirovski vrh u 1968. godini. Fond stručne dokumentacije IGRI, Beograd.
16. Omaljev V., 1969b: — Eksploatacijsko raziskovanje v uranovem rudišču Žirovski vrh. Geologija, razprave in poročila, 12. knjiga, Ljubljana.
17. Omaljev V., 1971: — Eksploataciono istraživanje I rudonosnog paketa u ležištu uranijuma Žirovski vrh. Nuklearna energija 2—3, godina 1970/71, Beograd.
18. Omaljev V., 1972: — Studija rezultata probnog otkopavanja na horizontu 580 m ležišta urana Žirovski vrh. Fond stručne dokumentacije IGRI, Beograd.
19. Omaljev V., — u štampi a: — Izbor lokacija istražnih horizonata na ležištu urana Žirovski vrh.
20. Omaljev V., — u štampi b: — Ispitivanje uslova primene i kontrola radiometrijskih metoda oprobavanja u ležištu urana Žirovski vrh.
21. Omaljev V. i Ramovš A., 1967: — Rudišče urana v Žirovskem vrhu. Loški razgledi XIV, Škofja Loka.
22. Pantić R., 1968: — Sirovinska baza nuklearnog goriva u Jugoslaviji. I simpozijum o energetici Jugoslavije. Srpska akademija nauka i umetnosti, odelenje tehničkih nauka, Beograd.
23. Petrović Ž., 1969: — Hidrogeologija ležišta urana Žirovski vrh. Radovi IGRI, broj 6, Beograd.
24. Protić M. i Gojković S., 1965: — Odnos Th/U u klastičnim stenama kao indikator geohemijskih facija. Geohemijski seminar, Beograd.
25. Rabrenović R., 1968: — Oprobavanje i radiometrijska separacija uranonosne rude lokalnosti Gorenja Vas. Fond stručne dokumentacije Instituta za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd.
26. Radošević S., 1961: Prethodni izveštaj o petrografskom sastavu oblasti Žirovski vrh kod mesta Gorenja Vas u Sloveniji. Fond stručne dokumentacije IGRI, Beograd.
27. Radošević S., 1969: — Litofacijalne karakteristike permskih terigenih sedimenata Pohorja i njihovo upoređenje sa istim sedimentima Žirovskog vrha i Škofje Loke u Sloveniji. Radovi IGRI, broj 5, Beograd.

28. Radusinović D., 1967: — Mineraloški sastav i geneza uranskog ležišta Žirovski vrh. Radovi IGRI, sveska 3, Beograd.
29. Ramovš A., 1965: — O »hochwipfelskih skladih« v posavskih gubah in o »karbonskih plasteh« v njihovi soseščini. Geološki vjesnik 18/2, Zagreb.
30. Ristić M. i Markov C., 1971: — Mineraloško-geohemijske odlike sredina taloženja, indikatori orudnjenja i način postanka ležišta urana Žirovski vrh u SR Sloveniji. Radovi IGRI, broj 7, Beograd.
31. Stevanović V., 1965: — Prognoza hidrogeoloških uslova eksploatacije ležišta mineralnih sirovina u predelu Gorenja Vasi (diplomski rad) — Beograd.
32. Vukasović M., 1963: — Sekundarni minerali urana iz oblasti Žirovskog vrha kod mesta Gorenja Vas u Sloveniji. Radovi IGRI, sveska 2, Beograd.
33. Živanović V., 1966: — Ispitivanje tehnologije procesa prerade uranonosne rude i dobijanje tehničkog koncentrata urana sa lokalnosti »Gorenja Vas«. Fond stručne dokumentacije Instituta za tehnologiju nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd.

Summary

VELJKO OMALJEV[1]

LEVEL OF EXPLORATIONS AND METHODOLOGY OF ORE RESERVES CALCULATIONS IN ŽIROVSKI VRH URANIUM DEPOSITS

Žirovski Vrh uranium deposit is located in the northeastern slopes of Žirovski Vrh ridge, near the village of Gorenja Vas, about 45 km southwest of Ljubljana.

The deposit has been discovered by radiometric prospecting in 1960, and has been continuosly investigated since then.

The geological and structural features are relatively complex. The Upper Paleozoic sediments, mostly argilloschists and Gröden strata, were thrusted over the Upper Triassic Rabelj tuffaceous sandstones and the Hauptdolomite (Fig. 1 and 2).

The Gröden strata consist of the red and the gray sequences. The gray sequence was deposited seemingly conformably over the argilloschists, and consists of gray sandstones and conglomerates, with infrequent red sandstone intercalations. It is uranium-bearing formation. The red sequence is composed of red sandstones, allevrolites and conglomerates.

The uranium mineralization consists of pitchblende only, located in the cement of gray sandstones and conglomerates, with stratification as the structural control of mineralization. Pitchblende is associated with minor amounts of sulphides. Under supergene environment, the secondary uranium minerals, such as dumontite, torbernite, metatorbernite, autunite, phosphuranilit — rhenardite, and gummite, were deposited.

Genetically, it is an infiltration-epigenetic uranium deposit in the sandstone, of medium size.

Most of the exploration has been conducted by drilling, both from the surface and from exploratory mining workings. The best explored is

---

[1] Institute for geological and mining investigation and exploration of nuclear and other raw materials, Beograd.

the mineralized zone I, covered by adit located at 580 m level. The shallow percussive drilling has been conducted from the adit, along the profiles located along the dip of gray sequence. The profiles were spaced by 25—100 m, with drill-holes mutually separated by 5 m. The lower mineralized levels were explored from the surface by deep rotary drill holes; the density of drilling grid was variable, the most dense being 50×50 m grid.

The experimental mining has been attempted in order to prove the results of detailed investigations, as well as to prove the mining at pilot-plant level. The experimental radiometric separation was also attempted, as well as the autogenous ore milling. The ore processing into a concentrate has been conducted at a laboratory level only, and a pilot-plant experiment should be conducted.

The hydrogeological conditions will not pose the difficulties in ore exploitation. The 580 m level is above the ground water level; the circulation of ground water in lower levels is prevented by the presence of impermeable argilloschists. The removal of undreground waters, by natural downslope circulation, is possible up to the 430 m level.

The preliminary feasibility study have confirmed the economical exploitation of uranium ore.

The classification of mineral deposit, categorization of ores, and calculation of ore reserves, have been based on the Proposal for Classification and Categorization of Uranium Ore Reserves, prepared as an internal publication of Yugoslav Federal Nuclear Energy Commission, in 1967. The ore reserves were calculated according to explorations completed on December 31, 1968; this calculation represents the completition of a phase in exploration of Žirovski Vrh deposit.

The Žirovski Vrh uranium deposit belongs № IV morphologic group of uranium deposits; no A category of reserves are determined, in this group, by normal explorations, and the investments are calculated according to B and C_1 are reserves.

The basic parameters for ore reserves calculations, the thickness of mineralized horizons and ore grades, were obtained by the quantitative interpretation of gamma-ray logging of drill-holes. This method has been checked by numerous experiments to establish its validity under different conditions.

The higher categories of ore reserves were determined by the parallel profiles, and the author has developed a modified statistical method best suited for the particular geological and other conditions at Žirovski Vrh deposit.

Due to the fact that the necessary experiments, on the technology of ore processing at the pilot-plant level were not conducted, no ore reserves higher than C_1 category have been calculated. However, due to the fact that some parts of deposit were more densely explored, the corresponding reserves were temporarily included into C_1(A) and C_1(B) categories.

The lower C_2 categories of ore reserves were calculated according to results of drilling along the grid, from the surface. The calculation was conducted by the method of geological blocks.

The economic importance of the higher-categories of ore reserves has been determined. In order to open the mine and construct the ore processing plant, the ore reserves for a five-years exploitation period should

be secured. Four different calculations of the production capacity has been made, and the B category ore reserves were adequate for each of these calculations. It is only necessary to secure the C_1 reserves, which range between 29% and 74% of the total five-year production reserves, depending of the selected production capacity.

Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina. Sveska 9, 1974. godine

DUŠAN RADUSINOVIĆ

UDK: 553.44 (497.11)

MINERALNI SASTAV I GENETSKE KARAKTERISTIKE OLOVO-CINKOVOG RUDNOG LEŽIŠTA FARBANI POTOK NA NOVOM BRDU (SR SRBIJA)

(sa 8 slika u tekstu)

Rudno ležište Farbani potok na Novom brdu predstavlja veoma značajno nalazište olova i cinka u Kopaoničkoj oblasti. Ovim radom dat je prikaz mineralnog sastava orudnjenja kao i petrografske karakteristike okolnih stena i njihove hidrotemlane promene. Zatim su izneti rezultati eksperimentalnih ispitivanja vršenih na sfaleritima i kvarcu u cilju dobijanja podataka o temperaturama staranja ovih minerala u rudnom ležištu. Takođe su detaljno proučavani strukturni i paragenetski odnosi minerala i vršena interpretacija njihovog redosleda stvaranja u ležištu.

Na osnovu dobijenih rezultata u radu je iznet zaključak o uslovima stvaranja i genetskom tipu ležišta, prema kome olovo-cinkano ležište u Farbanom potoku pripada tipu hidrotermalnih tvorevina gde je mineralna materija deponovana metasomatskim putem u kata do mezotermalnom temperaturnom intervalu hidrotermalnih rudnih procesa. Tvorevine viših (skarnovskih uslova stvaranja) odnosno nižih (epi do teletermalnih faza) prisutne su samo u neznatnim količinama i nemaju bitnijeg značaja u rudnom ležištu.

UVOD

Kopaonička planinska oblast, poznata po svom rudnom blagu od davnina, dobija pre desetak godina još jedno značajno nalazište olova i cinka u lokalnosti Farbani potok na Novom brdu. Rudno ležište se nalazi na krajnjim jugoistočnim ograncima Kopaonika, približno oko 30 km u pravoj liniji istočno od Prištine. Ovo ležište u Farbanom potoku, upravo se nalazi na svega 3 km od već napuštenog rudnika Novo brdo, koje je bilo predmet eksploatacije, ali svega oko 10 godina, neposredno posle II svetskog rata i koje je bilo neznatnih rezervi. Tako je pretila opasnost da ponovo dođe do zamiranja rudarske aktivnosti u ovom nekada čuvenom rudarskom kraju.

U predelu rudnika, na njegovoj površini, nalaze se brojni tragovi nekadašnjeg rudarenja u vidu malih udubljenja — šahtica kao i ostaci starih troskvišta. U rudarskim radovima otkrivene su znatne površine starih eksploatacionih rudarskih prostorija sa ostacima opreme srednjevekovnih rudara, što predstavlja veoma interesantan arheološki nalaz. Sve to uka-

zuje o nekadašnjoj intenzivnoj rudarskoj aktivnosti, koja iznenađuje i po obimu a naročito po dubinskim nivoima do kojih su ti stari rudari silazili u cilju vađenja metala.

Slično kao i u mnogim krajevima nekadašnje Srbije, tako je i u ovoj oblasti sa jačanjem i razvijanjem srednjevekovne Srpske države razvijalo se i cvetalo i rudarstvo a sa opadanjem njene moći i naročito dolaskom Turaka i rudarska aktivnost je upadljivo jenjavala dok se vremenom nije sasvim ugasila. Posle drugog svetskog rata u ovom području je obnovljena rudarska aktivnost ali je to jedino olovo-cinkano ležište bilo uskoro iscrpeno; jer ono zapravo i nije ni predstavljalo neki značajniji centar mineralizacionih procesa, ali se tada za druga ležišta na Novom brdu nije ni znalo. Tek su olovo-cinkana orudnjenja u lokalnosti Farbani potok, na putu da povrate rudarski ugled ovom kraju.

Autor ovog članka bio je u mogućnosti, zahvaljujući saradnicima geološke službe »Rudnika Trepča«, da još u prvoj fazi istraživanja ovog ležišta, prouči mineralni sastav i dade interpretaciju genetskih uslova stvaranja minerala u ležištu, čiji rezultat je i ovaj rad.

GEOLOŠKO-PETROGRAFSKE KARAKTERISTIKE LEŽIŠTA

Olovo-cinkano rudno ležište Farbani potok na Novom brdu, nalazi se u seriji kristalastih škriljaca paleozojske starosti. U predelu rudnika u škriljcima se nalazi i nešto mermerisanih krečnjaka. Našim ispitivanjima izdvojili smo u seriji kristalastih škriljaca nekoliko tipova i to: kvarc-sericitske škriljce, aktinolitske škriljce, albitsko-epidotsko-hloritske škriljce, epidotsko-hloritsko-sericitske škriljce i filito mikašiste. Sve ove stene, izuzev jedino albitsko-epidotsko-hloritske škriljce su para porekla. Albitsko-epidotsko-hloritski škriljci su verovatno orto porekla, postali dejstvom regionalno metamorfnih procesa na neke vulkanske stene.

Orudnjenja su lokalizovana na kontaktu kvarc liskunskih škriljaca i filito mikašista.

Metamorfni kompleks stena je mestimično isprobijan vulkanogenim tvorevinama tercijarnog magmatizma. Našim ispitivanjima proučili smo nekoliko primeraka andezita i dacita iz rudarskih radova.

Andezit je izgrađen od feldspata, biotita i hornblende koji se često nalaze kao fenokristali. Feldspat je zonaran andezin i prilično dobro je očuvan kao fenokristal. Na njemu se mestimično ipak sreću izvesne promene duž pojedinih zona, gde je došlo do stvaranja sekundarnih minerala sericita, hlorita a ređe i nešto epidota. Biotit je gotovo potpuno alterisan i pretvoren najvećim delom u hlorit. Hornblenda je totalno alterisana, tako da od nje nije ostalo skoro ništa, nego je prešla u jedan agregat od hlorita, epidota, kalcita i oksida gvožđa.

U osnovnoj masi andezita nalaze se plagioklasi, hlorit, sericit i nešto kvarca. Bojeni sastojci biotit i hornblenda nisu očuvani u osnovnoj masi, nego su potpuno razoreni. Zbog izvesne količine kvarca u osnovnoj masi ova andezitska stena bi činila prelaz ka dacitoidima.

Andezit je holokristalasto porfirske strukture. Hemijski sastav andezita na osnovu dve hemijske analize bio je sledeći:

SiO_2	—	55,68
Al_2O_3	—	15,46
Fe	—	6,11
Cr_2O_3	—	0,04
TiO_2	—	0,65
P_2O_5	—	0,16
MnO	—	0,35
CaO	—	1,82
MgO	—	1,27
Na_2O	—	0,46
Ka_2O	—	7,70
S	—	6,29
		95,95

Iz rezultata hemijskih analiza jasno se zapaža da su andezitske stene toliko alterisane i hidrotermalno promenjene da nema nikakve svrhe preračunavati ove podatke. Između ostalih fenomena naročito je izražena kalijska metasomatoza, što se odražava visokim sadržajem kalija. Takođe visok sadržaj sumpora ukazuje na intenzivno orudnjenje ovih stena i prisustvo sulfidnih minerala čiji metali nisu ovde analizirani.

Dacit — Stena je jasne i očuvane holokristalaste porfirske strukture. Od fenokristala sadrži sanidin i anortoklas koji su mestimično sericitisani, a delom zahvaćeni i procesima neoalbitizacije. Retko se sreće i poneka liska hloritisanog biotita. Kvarc je u steni znatno prisutan i javlja se dvojako — u vidu zrnastih sočivastih agregata i u vidu žilica i samo je mestimično udružen sa sericitom. U osnovnoj masi javljaju se feldspati, kvarc, radijalno zrakasti agregati turmalina i sericit. Na osnovu ovakvog sastava stena je određena kao alterisani i turmalinizirani sanidinski dacit.

Hemijska analiza sanidinskog dacita pokazala je sledeći sastav:

SiO_2	—	52,48
Al_2O_3	—	15,92
Fe	—	8,04
Cr_2O_3	—	0,08
TiO_2	—	0,63
P_2O_5	—	0,13
MnO	—	0,21
CaO	—	0,76
MgO	—	0,19
Na_2O	—	0,31
K_2O	—	10,72
S	—	8,50
		97,97

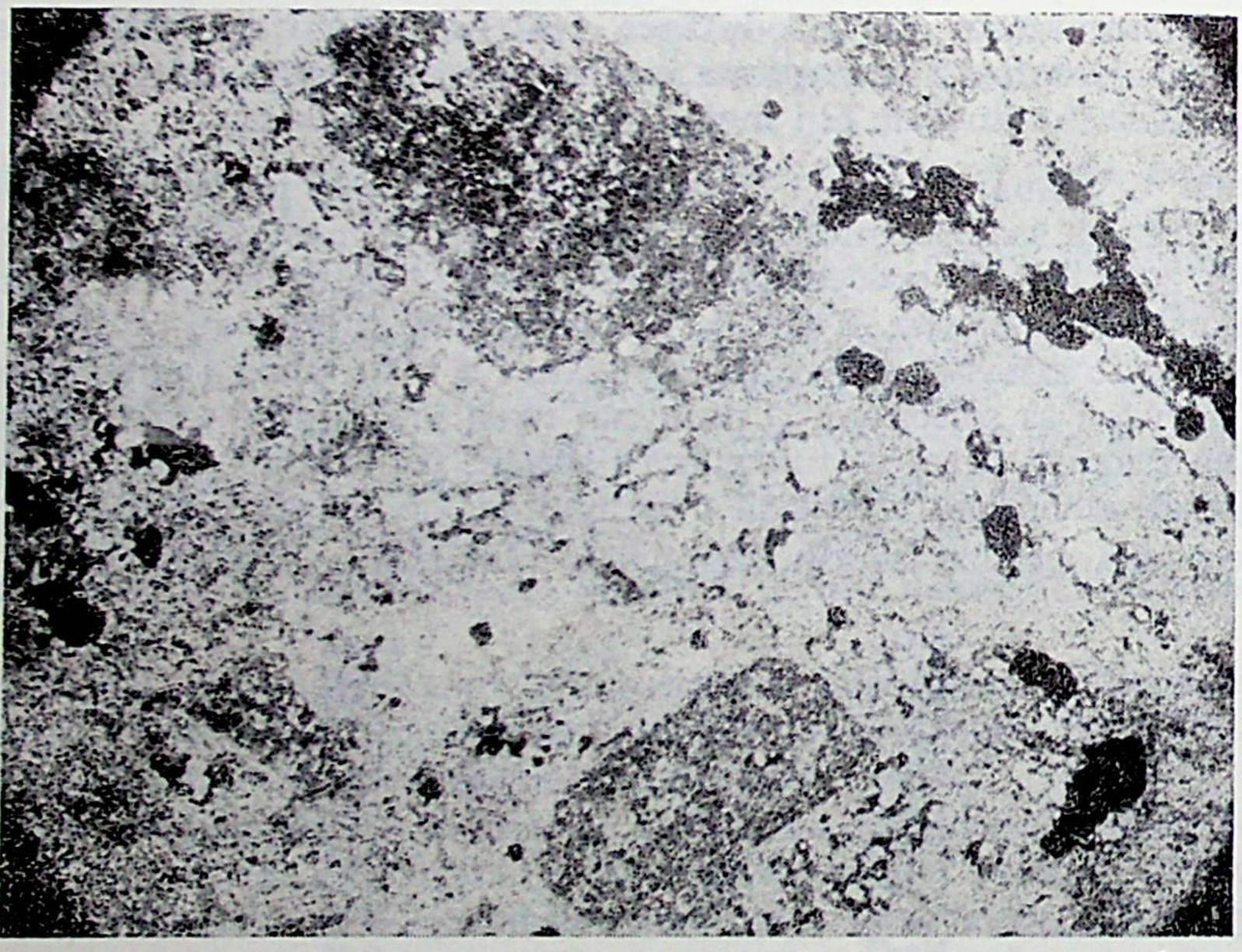
Hemijska analiza ovih dacita pokazala je sastav vrlo sličan sa andezitom i takođe i ovde se zapaža intenzivna kalijska metasomatoza i znatan sadržaj sulfida. (Petrografsku odredbu stena vršio je S. Divljan, dipl. inž. geologije a hemijske silikatne analize su urađene u Institutu za tehnologiju nuklearnih sirovina u Beogradu.)

Promene okolnih stena u ležištu

Mineralni rastvori izazvali su mnogobrojne promene u sadržaju kako kristalastih škriljaca, tako i vulkanskih stena u neposrednoj okolini rudnog ležišta. Najizraženije promene kristalastih škriljaca se ogledaju u silifikaciji, sericitizaciji, karbonitizaciji i rudnoj impregnaciji. Naročito je proces silifikacije znatnog rasprostranjenja.

Kristalasti škriljci su pretrpeli promene, toliko intenzivne, da se samo mestimično mogu naći fragmenti očuvanih škriljaca. Ima slučajeva kada su usled intenzivne sericitizacije, silifikacije i piritizacije usledile tolike izmene da se od prvobitne stene nisu očuvali čak ni najmanji relikti.

U nekim kontaktnim delovima okolne stene su pretrpele i visokotemperaturne promene, tako da se u njima sreću i minerali karakteristični za skarnovske parageneze — granat, vezuvijan i volastonit. Granat je grosular, anizotropan je i zonaran. Vezuvijan je izotropan i to znači da se radi o varijetetu koji je bogat sa Fe_2O_3. Vezuvijan je mlađa tvorevina i potiskuje i zamenjuje granat. Sem ovih minerala ovde se javlja i još nešto epidota, volastonita, kvarca i kalcita.



Sl. 1 — Potpuno hidrotermalno izmenjeni andezit sa konturama fenokristala koji su potpuno zamenjeni sekundarnim mineralima.
Nikoli //. Vazduh. Uvećanje 40×

Vulkanske stene su u najvećem broju slučajeva pretrpele znatne promene usled propilitizacije i dejstva hidrotermalnih rastvora (Sl. 1 i 2). Taj proces ide ponekad tako daleko da su feldspati potpuno prešli u sericit, a delimično i u karbonatnu materiju. Mestimično su vulkanske stene zahvaćene i kalcedonskom masom. Promene su naročito izražene na bojenim

sastojcima stena i ovi feromagneziski minerali su zamenjeni jednim agregatom karbonata, hlorita i rudnih minerala. Takođe su i feldspati skoro uvek transformisani i uopšte ih nije moguće sa sigurnošću pojedinačno određivati.



Sl. 2 — Zonarni granati a u centralnom delu zrna vezuvijana (bez zonarne građe i takođe reljefna) i nešto kvarca (beo).
Nikoli //. Vazduh. Uvećanje 40×

Bliže rudnim telima okolne stene su zahvaćene i intenzivnim procesom kaolinizacije. Tako je u pojedinim delovima ležišta došlo do nagomilanja glinovitih minerala i to uglavnom kaolinita i halojzita. Ovaj poslednji se javlja i u ekonomski značajnim količinama u rudnom ležištu.

Kaolinit — je posao pretvaranjem feldspata, slabog je stupnja kristaliniteta i nalazi se u asocijaciji sa kvarcom, raspadnutim feldspatima, karbonatima i markasitom.

Halojzit — je zastupljen u znatnim skoro monomineralnim količinama. Javlja se u kompaktnim kriptokristalastim masama. Školjkastog je preloma. Rezultati ispitivanja ukazuju da je on uglavnom čist i da ima samo mestimično nešto limonita, koji se javlja u vidu mrkih skrama, a retko halojzit sadrži i nešto inkluzija sulfida. Upravo od raspadanja sulfida gvožđa i dolazi do stvaranja limonitskih nečistoća.

Kvantitativna hemijska analiza halojzita pokazala je sledeći sadržaj:

SiO_2	—	43,30
Al_2O_3	—	36,5
FeO	—	1,37
Cr_2O_3	—	Ø
TiO_2	—	0,10
P_2O_5	—	0,76
MnO	—	0,06

CaO	—	1,09
MgO	—	0,15
Na_2O	—	—
K_2O	—	0,05
S	—	0,37
gubitak žarenjem		16,27
		99,93

Rentgenska ispitivanja dala su dijagram praha sa sledećim *d* vrednostima:

1	d(Å)
6	9,77
8	7,63
16	4,42
5	3,61
4	3,34
4	2,55
4	2,51
4	2,37
2	1,67
4	1,48

Materijal je pripreman na tri razna postupka i od svakog je dobijen po jedan rentgensko-difraktometrijski snimak i to od prirodnog materijala, od etilen glikolom natopljenog glinovitog materijala i od materijala koji je žaren na temperaturi od 550°±10°C u vremenu od dva sata.

Na osnovu svih dobijenih rentgenskih difraktograma ovaj materijal je određen kao mineral halojzit — prelaz od hidratisanog ka nehidratisanom halojzitu. (Snimanja je izvršio fizičar Gavrilo Vuković).

Rezimirajući rezultate svih navedenih ispitivanja može se izvesti zaključak da se ovde radi o monomineralno čistom halojzitu bez prisustva, čak ni u tragovima, ostalih minerala glina.

Interpretirajući uslove postanka minerala u fazi okolorudnih promena na stenama u rudnom ležištu, mi pretpostavljamo da je halojzit nastao hidrotermalnim putem. Verovatno da je prvobitno bio stvoren kaolinit a da su kasniji hidrotermalni rastvori izvršili njegovu hidrataciju i transformisali ga u halojzit.

MINERALNI SASTAV RUDE

U olovo-cinkanom ležištu Farbani potok mineralni sadržaj je zastupljen sledećim rudnim mineralima: piritom, sfaleritom, galenitom, arsenopiritom, markasitom, pirhotinom, halkopiritom, burnonitom, bulanžeritom, džemsonitom, tetraedritom, halkopirhotinom, kubanitom, valeritom i staninom.

Od sekundarnih minerala nastalih pod dejstvom supergenih procesa nađeni su bornit, halkozin, kovelin, ceruzit, anglezit, malahit, melanterit, gips i limonit.

Od minerala ganga prisutni su: kvarc, kalcit, siderit, mangano siderit-oligonit, ankerit i kutnahorit.

Ovako raznovrsni mineralni sadržaj u pogledu prisutnosti pojedinih mineralnih vrsta daje utisak o jednoj, po mineralnom sastavu složenoj sulfidnoj rudi. Međutim, kada se uzme u obzir ekstenzitet a naročito intenzi-

tet pojedinih mineralnih vrsta u ležištu, onda stvar izgleda mnogo jednostavnija, jer je ruda uglavnom izgrađena od pirita, sfalerita i galenita, a svi su ostali minerali u podređenim količinama, ali tako da je zastupljenost arsenopirita, markasita i halkopirita nešto veća dok se ostali minerali javljaju u minimalnim količinama, a neki od njih kao na primer sulfosoli su često mineraloške pojave i sreću se veoma retko u rudi.

Pirit — je i po ekstenzitetu i intenzitetu najzastupljeniji mineral u ležištu. Javlja se različito — u vidu idiomorfnih kristala obično kocke, ređe pentagendodekaedra, zatim u nepravilnim agregatima često sa ritmičkom strukturom i u vidu žilica koje presecaju ranije stvorene rudne minerale. Prema tome mogu se u ležištu izdvojiti i tri generacije postanka pirita.

Idiomorfni krupnokristalni pirit je jedna od prvih tvorevina u ležištu, a tek posle njega deponovane su i značajne količine pirhotina od koga su nastale piritske mase nepravilnog oblika. Obe ove generacije pirita korodovane su kasnije stvorenim mineralima u prvom redu halkopiritom, sfalenitom i galenitom i od njih su upravo i izgrađene piritska rudna tela značajnih dimenzija. Treća generacija pirita je neznatna po intenzitetu ali je velikog rasprostranjenja i često se javlja u pukotinama drugih sulfidnih minerala ali najčešće u sfaleritu.

Najveće mase pirita se javljaju izdvojene u podinskom delu rudnih tela i često su praktično monomineralne.

Veličina zrna pirita je različita, najčešće od pola pa do nekoliko milimetara ali ih ima krupnije iskristalisanih, i oni su često kataklazirani, a veličina njihovih kristala iznosi i preko desetinu milimetara.

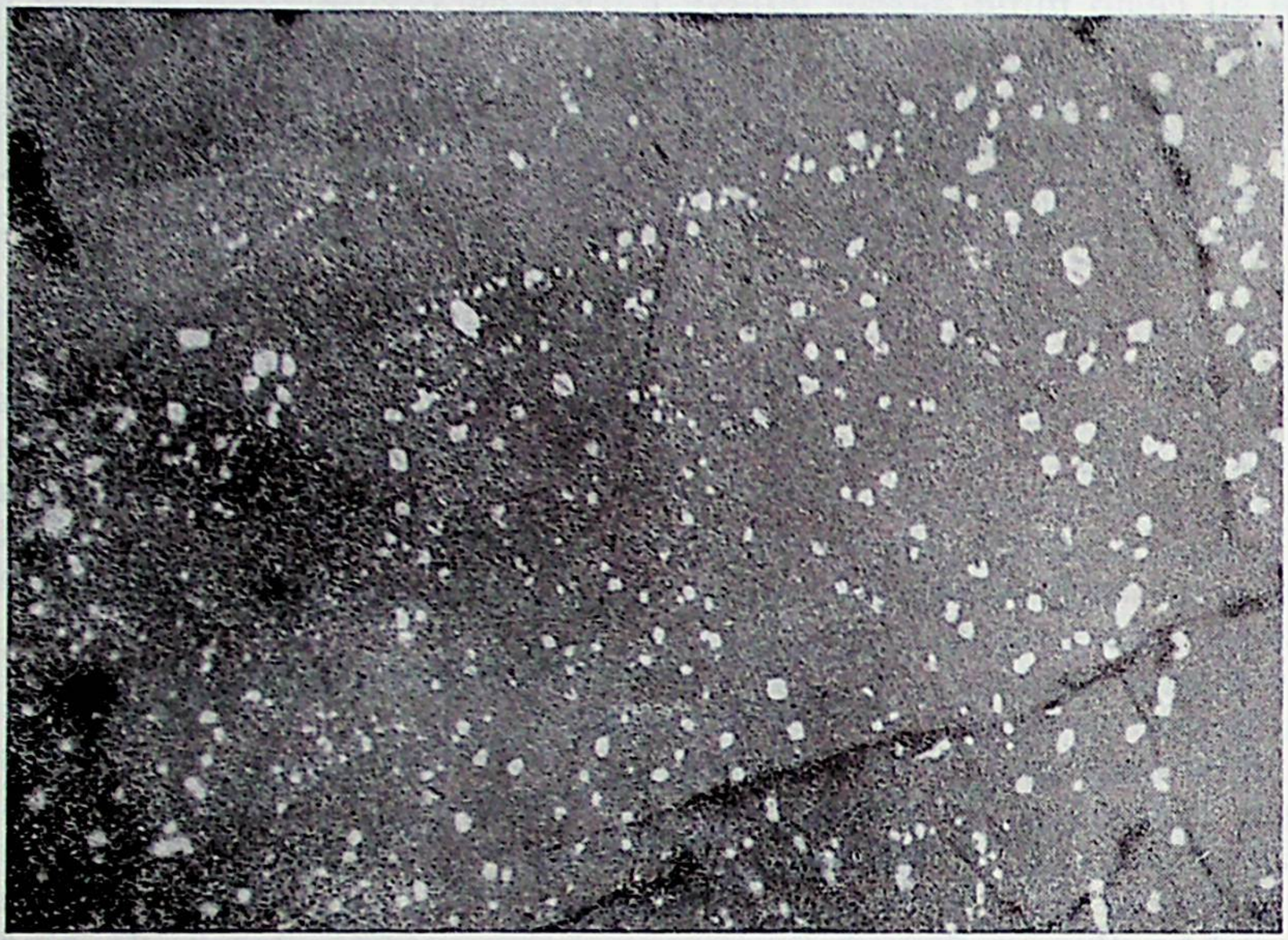
Sitnozrni piriti su neznatno zastupljeni, a veličina njihovih zrna ide i ispod 50 mikrona. Takođe i piritiske žilice su male moćnosti, obično oko deset mikrona, a dužine i po nekoliko milimetara. Prilično su zastupljene ali prema svom intenzitetu javljanja su zanemarljivih količina.

Sfalerit — je posle pirita najzastupljeniji rudni mineral. Obično je krupnokristalast i lamelarne građe. Delimično je sa izdvajanjima halkopirita, ređe pirhotina, ali ga ima i bez izdvajanja. Međutim, uvek se radi o sfaleritu koji je bogat gvožđem i koji pripada varijetetu marmatita. Mestimično se mogu videti i crvenomrki unutrašnji refleksi ali je sfalerit u najvećem delu neprovidan. Udružen je sa piritom i galenitom. Paragenetski odnosi ukazuju da je sfalerit mlađi od prve dve generacije pirita kao i stariji od treće generacije. Sfalerit je stvaran i u jednoj mlađoj fazi u kojoj su deponovane i znatne količine galenita i tada je ovaj sfalerit bez izdvajanja, a sadrži inkluzije galenita i džemsonita. Sfalerit se javlja još i u vidu izdvajanja u halkopiritu. Strukture halkopiritskih izdvajanja u sfaleritu kao i sfaleritskih u halkopiritu prikazane su na mikrofotografijama (Sl. 3 i 4).

Način prorastanja sfalerita sa drugim mineralima je prilično jednostavan i izuzimajući strukture izdvajanja kao posledicu raspada čvrstog rastvora, nisu zapažene složenije strukture. Neznatne količine halkopirita koje potiskuju sfalerit su sitnozrne ili u vidu žilica i nepovoljne za izdvajanje od sfalerita ali zbog svoje neznatne količinske zastupljenosti mogu se potpuno zanemariti. Galenit često potiskuje sfalerit, ali ni ovde se ne sreću složenije strukturne slike nego se radi o krupnijim zaostacima sfalerita odnosno uklapanjima galenita u sfalerit, čije su veličine obično iznad

0.2 mm. Međutim, ima i sfalerita koji se nalazi po pukotinicama galenita, kao niskotemperaturna tvorevina i tada je u sferoidnim oblicima.

Pirhotinske inkluzije su u sfaleritu retke, ali uvek krupnije od halkopiritskih. Halkopirhotin, pirhotin, kubanit, i valerit su izvanredno retki i javljaju se u sfaleritu samo u vidu izdvajanja mikronskih razmera.



Sl. 3 — Halkopiritsko izdvajanje u sfaleritu.
Nikoli //. Imerzija. Uvećanje 160×

Veličina sfaleritskih zrna je varijabilna i kreće se uglavnom od 0.2 mm pa do nekoliko milimetara pa čak i do desetine milimetara. Sitnozrni sfalerit je vrlo redak i količinski neznatno zastupljen, a njegova skeletno kristalna izdvajanja u halkopiritu su ispod 10 mikrona veličine i zastupljena su u minimalnim količinama.

Hemijske karakteristike sfalerita proučavane su na dvadeset primeraka iz raznih nivoa ležišta. Materijal za ova ispitivanja bio je posebno pripreman i pažljivo separisan, tako da su dobijene probe praktično monomineralno čiste. Izuzetno su neki sfaleriti sadržali mikronske nečistoće drugih minerala i to uglavnom halkopirita i pirhotina koje su se nalazile u vidu strukturnih izdvajanja i prema tome nije ih bilo moguće odstraniti. Međutim, te inkluzije po svojoj prirodi, u krajnjoj liniji, i pripadaju sfaleritu kao karakteristične geohemijske primese u ovom rudnom ležištu.

Sadržaji gvožđa u sfaleritima kretali su se od 10% do 15,41% sa srednjom vrednosti od 13,14% Prema tome svi ispitivani sfaleriti u ležištu Farbani potok na Novom brdu odgovaraju marmatitskom varijetetu.

Od svih hemijski analiziranih primeraka sfalerita dobijeni su i rendgenski difraktogrami i izračunate dimenzije elementarne ćelije (a_o Å). Vrednosti za elementarnu ćeliju kretale su se od 5,4110 do 5,4196 Å, što prema K u l l e r u d -ovom dijagramu odgovara visokim temperaturnim

intervalima stvaranja sfalerita. Na osnovu preračunatih sadržaja gvožđa na molarne procente FeS u sfaleritima, prema istom Kullerud-ovom dijagramu, dobijene su temperature stvaranja sfalerita od 660° (za 26,21 Mol % FeS) odnosno 440°C (za 17.22 Mol % FeS). Dobijene temperature znatno prelaze kritičnu temperaturu vode, te bi stvaranje sfalerita pripadalo pegmatitsko-pneumatolitskoj fazi, što ovde sigurno nije slučaj. Verovatnije je da krivu koju je dao Kullerud treba korigovati kod viso-



Sl. 4 — Izdvajanje sfalerita u vidu zvezdica u halkopiritu. U desnom delu malo pirita (beo) i tetraedrita (tamnosiv).
Nikoli //. Imerzija. Uvećanje 160×

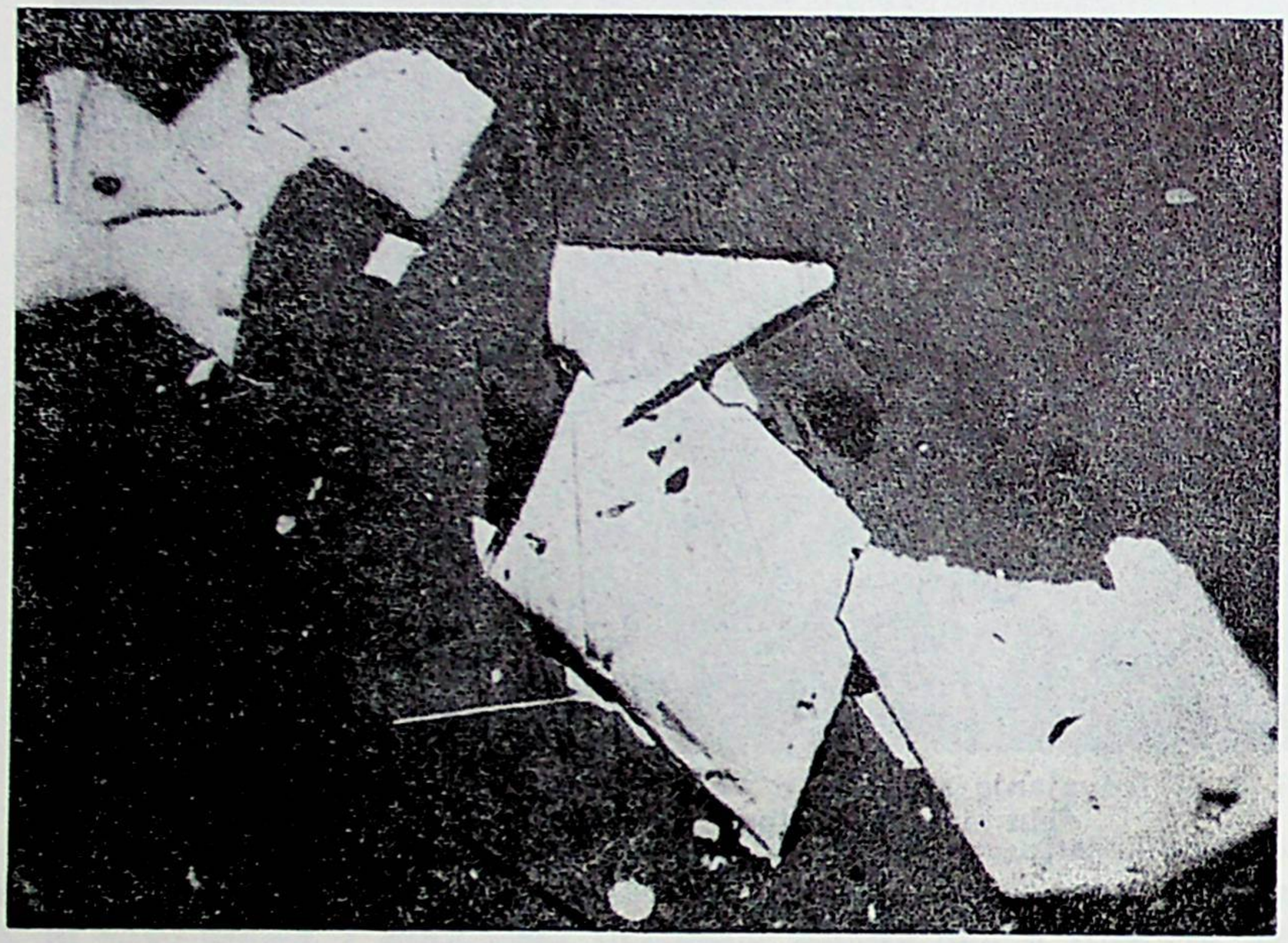
kih sadržaja FeS u sfaleritima a i temperatura vode sigurno može biti veća od kritične u procesu mineralnog stvaranja, iz razloga što u prirodnim uslovima mogu vladati visoki pritisci a takođe postojati i znatne koncentracije mineralnih materija, što sve utiče da se H_2O ponaša kao tečna faza i iznad kritične temperature vode.

Galenit — se javlja u vidu krupnih kristala. Njegova glavna količina je deponovana posle sfalerita koga često koroduje. Na krupnokristalnim galenitima se često zapaža jasna cepljivost po kocki. Neznatne količine galenita deponovane su i sa glavnom piritskom masom i u njemu se sretaju inkluzije pirita i pirhotina, ali u neznatnim količinama. U galenitu se često nalaze i zaostaci sfalerita prve generacije koji sadrži mnogobrojne inkluzije halkopiritskog i pirhotinskog izdvajanja i sa njima se ponekad, ali veoma retko, nađe i poneka inkluzija stanina. U njemu se još nalaze i neznatne inkluzije halkopirita, bulanžerita i vrlo retko tetraedrita. Sve su ove inkluzije neznatnih količina i nemaju praktičnog značaja. Ovde bi napomenuli da do sada u galenitu nisu još nigde bili zapaženi minerali srebra, mada je ovome bila posvećena posebna pažnja.

Mestimično se galenit duž pravaca cepljivosti ili po pukotinama pretvara u anglezit ređe u ceruzit, ali je ova pojava oksidacije vrlo neznatnih razmera.

Veličina galenitskih zrna je obično od pola pa do nekoliko milimetara ponekad i do desetine milimetara. Sitnozrni galenitski agregati su vrlo retki.

Arsenopirit — je dosta zastupljen mineral u rudi. Uglavnom je udružen sa piritom prvih generacija stvaranja. Idiomorfno je razvijen u relativno krupnim kristalima veličine i do nekoliko milimetara. U nekim slučajevima kada potiskuje pirit javlja se u nepravilnim oblicima, a mestimično se nalazi i po obodu kristalnih zrna pirita. Arsenopirit se javlja i u vidu inkluzija u sfaleritu prve generacije i tada je u geometrijski pravilno razvijenim kristalima (Sl. 5). Arsenopirit je po postanku jedan od prvostvorenih minerala u ležištu. Neki sitnozrni arsenopiritski agregati koji se javljaju uglavnom u gangu a ređe su udruženi sa sulfidima bi pripadali jednoj mlađoj fazi stvaranja. Arsenopirit se ponekad javlja i u krupnim zonarnim kristalima.



Sl. 5 — Idiomorfan arsenopirit (beo) u sfaleritu.
Nikoli //. Uvećanje 80×.

Pirhotin — se javlja u neznatnim količinama, ali je velikog egzistenciteta. Nalazi se retko očuvan sa prvom generacijom pirita, zatim u vidu zaostataka u piritu koji vodi od njega poreklo i najzad javlja se u inkluzijama u sfaleritu u vidu izdvajanja. U prvoj fazi stvaranja ležišta pirhotin je bio zastupljen u velikim količinama ali je kasnijom transformacijom ovaj pirhotin skoro potpuno prešao u pirit ređe i u markasit.

Markasit — je postao kao produkt pretvaranja pirhotina i javlja se sa piritom koji je takođe istog načina postanka. Neznatne količine markasita stvarane su i u epitermalnoj fazi i tada grade samostalne obično radijalno zrakaste agregate.

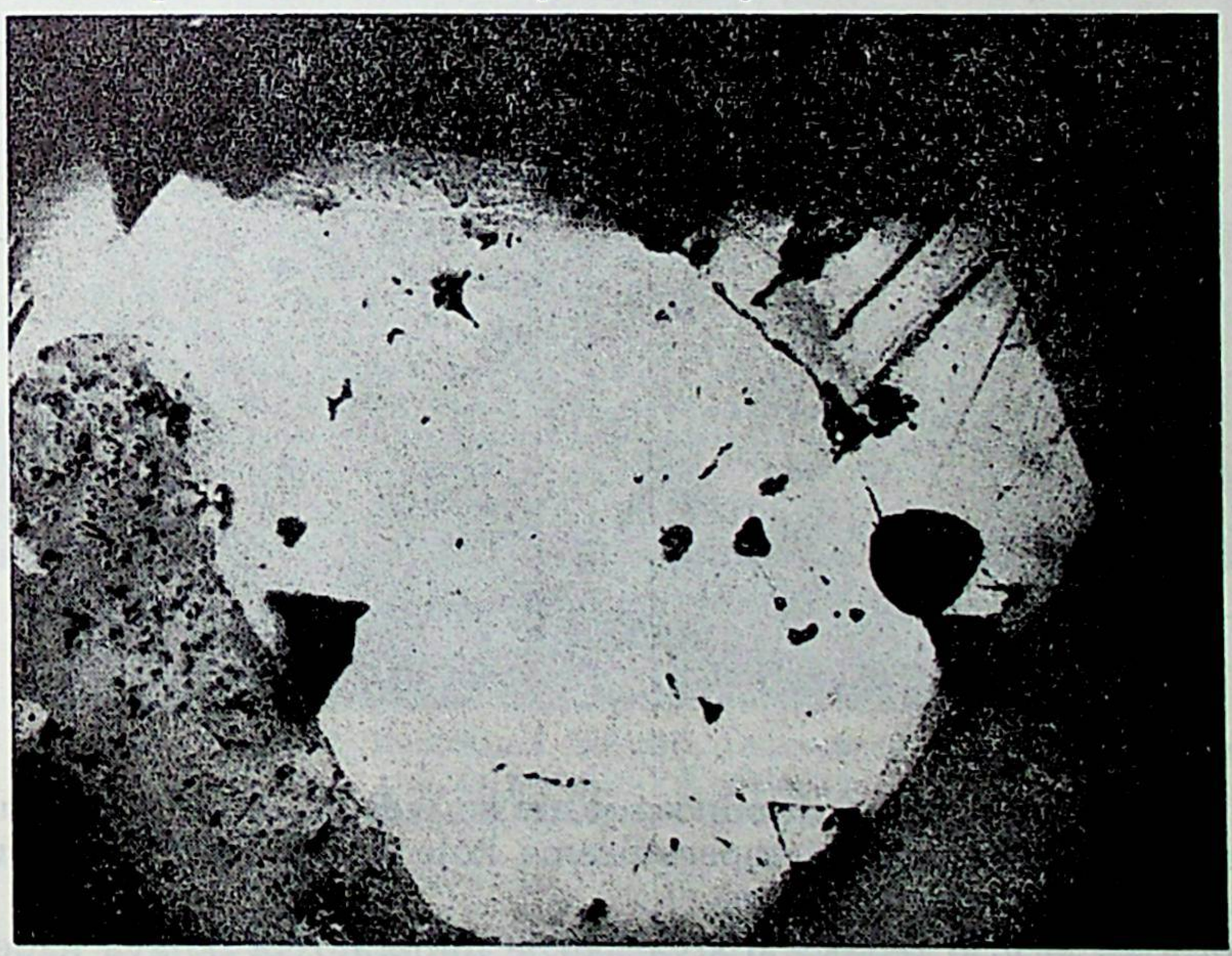
Halkopirit — je po ekstenzitetu prilično zastupljen mineral u rudi. Međutim, on se javlja u neznatnim količinama. Najrasprostranjeniji je u vidu izdvajanja u sfaleritu, a znatno ga je manje u generaciji koja sadrži sfaleritska izdvajanja i najzad najmanje količine halkopirita su u generaciji koja potiskuje sfalerit i galenit. Obično je sitnozrn i vrlo retko veličina njegovih zrna prelazi 0,5 mm. U njemu se vrlo retko mogu naći minimalne količine tetraedrita.

Halkopirhotin, kubanit i *valerit* — se javljaju isključivo kao izdvajanja u sfaleritu. Prvo je izdvojen halkopirhotin a njegovim raspadom došlo je do izdvajanja kubanita, valerita, halkopirita i pirhotina.

Halkopirhotin je vrlo retko očuvan i sada se često nalaze samo pseudomorfoze drugih minerala po njemu.

Kubanit se javlja u dva varijeteta kao izotropan i drugi sa jasnom anizotropijom i lamelarnom građom.

Valerit je nešto češći od kubanita i halkopirhotina, a gotovo uvek se javlja u halkopiritu i mikronskih je dimenzija.



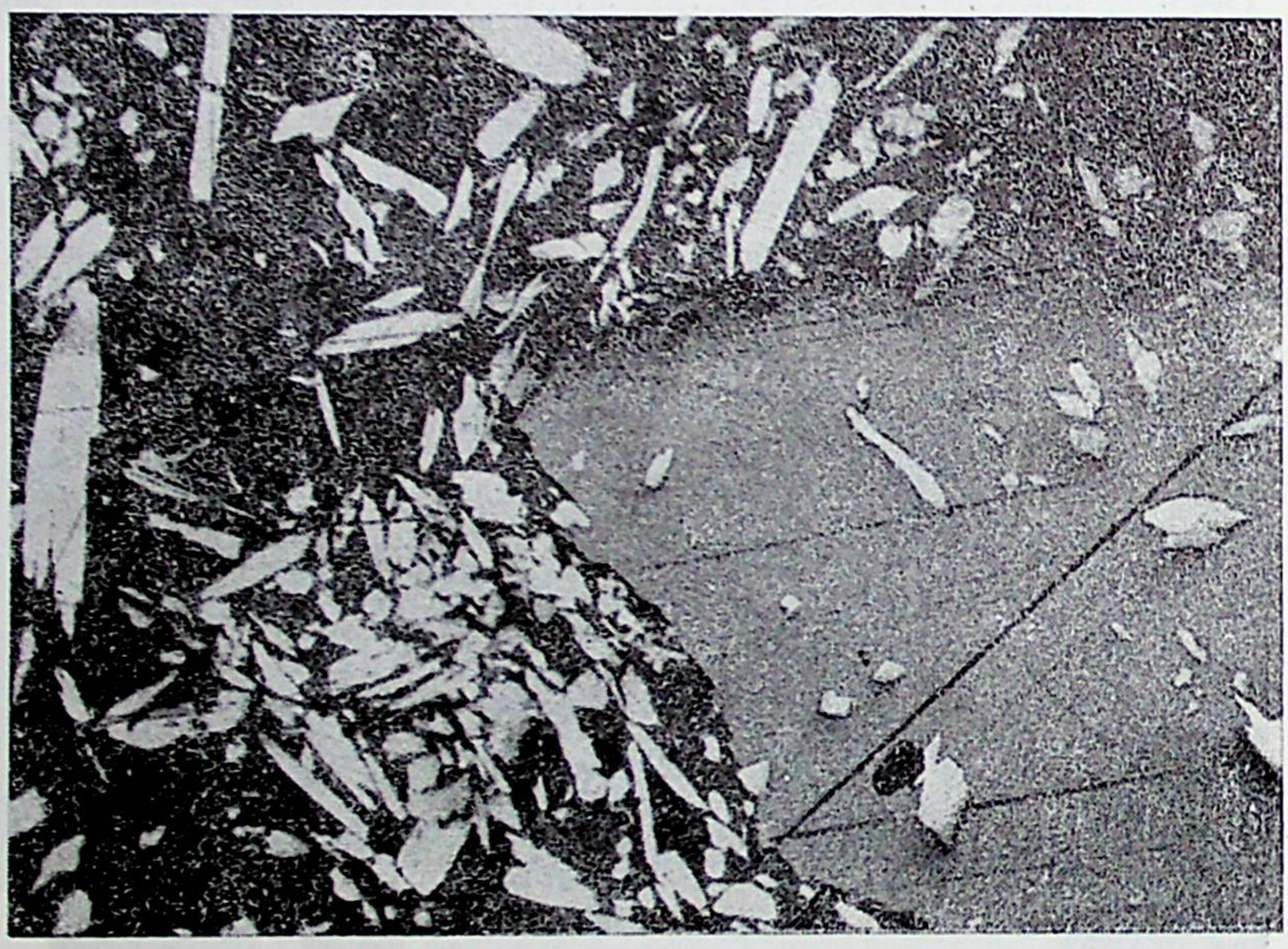
Sl. 6 — Burnonit (svetlo siv) u galenitu (beo). U njemu inkluzija tetraedrita (siv). Galenit je prorastao sa sfaleritom (tamnosiv). Nikoli //. Uvećanje 120×.

Prisustvo svih ovih minerala ukazuje na početne visokotemperaturne uslove postanka minerala i na postepeni pad temperature u procesu stvaranja ovog ležišta.

Burnonit — je vrlo redak mineral, nađen je sa galenitom, tetraedritom i sfaleritom bez izdvajanja. Mestimično je nastao kao reakcioni produkt na kontaktu tetraedrita i galenita (Sl. 6). U njemu se mogu naći i retke inkluzije bulanžerita.

Bulanžerit — je gotovo isključivo nađen u galenitu, vrlo je redak i u minimalnim količinama. Udružen je sa ostalim sulfoantimonidima olova. Na jednom mestu neki igličasti agregati, koji ga potiskuju mogli bi odgovarati falkmanitu, ali je njihova veličina ispod 30 mikrona i prema tome ih je u ovom slučaju nemoguće tačno determinisati.

Džemsonit — je vrlo redak, obično se javlja po obodu sfalerita, zatim galenita i kristala ganga. Ponekad se nešto džemsonita nalazi i u sfaleritu (Sl. 7).



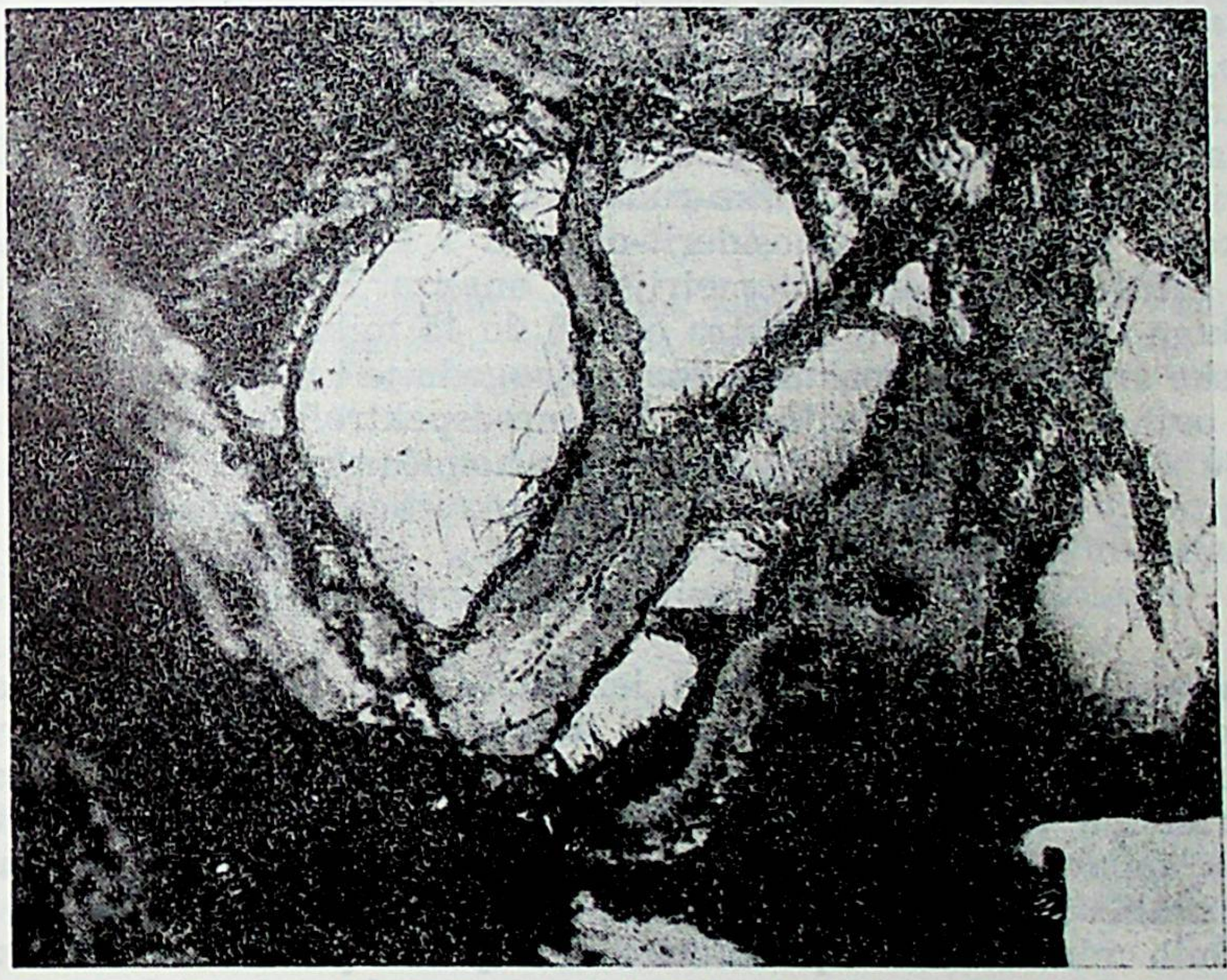
Sl. 7 — Džemsonit (beo) igličast, delom u gangu (crn), a delom u sfaleritu (siv).
Nikoli //. Imerzija. Uvećanje 160×.

Na osnovu paragenetskih odnosa jasno se vidi da se on stvara u jednoj mlađoj fazi i na nižim temperaturama koje bi odgovarale epitermalnom hidrotermalnom stadijumu.

Stanin — je vrlo redak i u stvari to je mineraloška pojava nađena u sfaleritu. Sfalerit na čijem se obodu nalazi stanin pripada prvoj generaciji tj. onoj koja sadrži halkopiritska i pirhotinska izdvajanja. Javlja se još jedna generacija stanina sa jasnom mrkom primesom u boji i obično je
kontaktu sfalerita i tetraedrita, ponekad i halkopirita. Stanin je nešto
je stvoren od sfalerita i radi toga ga potiskuje. Sitnozrn je, a veli-
staninskih inkluzija u sfaleritu ne prelaze 0,1 mm. Veoma je redak
je u stvari najmanje količinski zastupljen rudni mineral u ležištu.

Tetraedrit — je vrlo redak u ležištu. Javlja se najčešće u vidu inkluzija u halkopiritu, a ređe je u asocijaciji sa galenitom i burnonitom. U ovom poslednjem slučaju mirmekitski je prorastao sa galenitom, ali su ovo u stvari minimalne pojave. Vrlo retko se tetraedrit javlja kao cement idiomorfnom piritu. Tetraedrit koji se javlja u vidu inkluzija u halkopiritu, gradi ponekad nešto složenija prorastanja sa sitnozrnim piritom obavijajući ih u vidu oreola. Veličina ovih agregata je uvek ispod pola milimetra. Tetraedrit zamenjuje ponekad visokotemperaturne generacije halkopirita zadržavajući mestimično u sebi skeletna izdvajanja zvezdastih inkluzija sfalerita, a ređe i inkluzija stanina. Sreću se i strukture u kojima tetraedrit potiskuje sfalerit.

Bornit, halkozin i *kovelin*. — Ova bakarna asocijacija nađena je samo na jednom mestu u ležištu i to u pukotinicama pirita ranijih generacija stvaranja. Ovde se radi o produktima transformacije visokotemperaturne generacije halkopirita (sl. 8).



Sl. 8. — Bortnit, halkozin i kovelin (tamnosivi), u halkopiritu (beo) sa zvezdicama sfalerita.
Nikoli //. Imerzija. Uvećanje 80×.

U oksidacionoj zoni kao rezultat površinskog pretvaranja primarnih minerala javljaju se anglezit, ceruzit, malahit, gips, limonit i melanterit. Melanterit je ovde recentnog postanka u starijim rudarskim radovima.

Od minerala ganga ima kvarca, kalcita, siderita, ankerita i kutnahorita.

Kvarc — je velikog rasprostranjenja, ali bez znatnijeg intenziteta u rudi, izuzimajući intenzivan predrudni proces silifikacije okolnih stena. Javlja se uglavnom dvojako u vidu pravilnih idiomorfno razvijenih kri-

stala relativno krupnijih i kao druga generacija u sitnozrnim agregatima koji oblažu rudne minerale kao i jednu generaciju ranije stvorenog kalcita. I najzad u žilicama i skramama nižih temperatura stvaranja.

Kalcit — je u rudnim paragenezama prilično zastupljen. Javlja se ponekad u vidu kalcitskih žilica koje presecaju rudne minerale iz više temperaturnih faza stvaranja, a ima slučajeva kada se niže temperaturne sulfidne parageneze naročito one sa sulfosolima, deponuju preko kristala kalcita.

Siderit — Siderit je rasprostranjen mineral u rudi a najveće njegove količine javljaju se u tzv. oksidnom rudnom telu gde se javlja u vidu ovalnih i bubrežastih agregata sa radijalno pritkastom strukturom. Pored toga siderit se javlja i u višetemperaturnim paragenezama i tada često sadrži izvesnu količinu mangana čineći na taj način prelaz ka oligonitu.

Ankerit — se mestimično javlja u rudi, ali je neznatnog rasprostranjenja.

Kutnahorit — je nađen samo u jednom primerku, gde preseca rudne minerale. Javlja se u monomineralnim masama, bele boje, sa bledoružičastom primesom.

Podaci o ovom mineralu publikovani su od strane autora ovog članka u Radovima Instituta za geološko-rudarska istraživanja 1967. godine.

Ankerit, siderit, manganosiderit-oligonit i kutnahorit su određivani i putem infracrvenospektrofotometrijskih analiza. Snimanja su vršena u parafinskom ulju u oblasti spektra od 2,5 do 15 mikrona. Ove spektrofotometrijske analize su se pokazale kao najpogodnije i najsigurnije u determinaciji ovih karbonatnih minerala. (Infraredspektrofotometrijske analize uradila je G. Martinović, dipl. fiziko-hemičar.)

STRUKTURNI SKLOP RUDE

Struktura rudnih tela u ovom ležištu je vrlo jednostavna. Makroskopski gledano struktura je zrnasta i kompaktna, a minerali su krupno iskristalisali. U mikroskopu se vide jednostavni strukturni odnosi bez većih deformacija u vezi sa tektonskim procesima, sem neznatnog kataklaziranja, uglavnom pirita, galenita i sfalerita. U ovim pukotinicama se nalaze kristalići kvarca, ređe karbonata, a zatim i galenita, sfalerita i drugih sulfidnih minerala. Ove pukotinice su najčešće poslužile i za naknadne procese pretvaranja minerala. Uočavaju se strukture potiskivanja koje dovode do stvaranja mineralnih ostrvaca i relikata. Ovako se ponekad javlja pirit u vidu zaostataka u sfaleritu, sfalerit u vidu zaostataka u galenitu, zatim arsenopirit i pirhotin kao zaostaci u mlađim mineralima, a pirhotin naročito u vidu zaostataka po piritu koji je i nastao njegovom transformacijom. Veličina ovih zaostataka je različita, ali su najčešće od 0,2 mm. Zaostaci manjih dimenzija su vrlo retki kod pirita i sfalerita, dok kod pirhotina i arsenopirita su nešto češće i tada su obično između 40 do 120 mikrona veličine.

Samo mestimično zapažene su mirmekitske strukture galenita i tetraedrita, ali samo kao mineraloška pojava.

Vrlo retko se sreću i poikilitske strukture i to uglavnom kod srastanja džemsonita i sfalerita.

Strukture preobražaja primarnih minerala su nešto složenije. Ovakve strukture su česte kod sfalerita prilikom izdvajanja minerala koji su bili u njemu u vidu čvrstog rastvora. Obično su izdvajanja halkopirita kristalografski orijentisana, a veličine inkluzija ispod 10 mikrona. Ove inkluzije su mestimično mnogobrojne, dok su pirhotinska izdvajanja ređa, ali njegove inkluzije veće i kreću se obično od 20 do 70 mikrona. Naročito su česte gelozne strukture pirita koji je nastao transformacijom pirhotina. Koloidne gel strukture se takođe sreću kod minerala oksidacione zone i u glavnom su zapažene kod limonita.

INTENZITET I EKSTENZITET MINERALA U RUDI

Intenzitet minerala — prikazan je samo na osnovu podataka dobijenih putem mikroskopskih ispitivanja. Zbog toga su odnosi njihove količinske zastupljenosti dati približno, pošto nam nisu stajali na raspolaganju podaci hemijskih analiza o srednjem sadržaju pojedinih metala, kao ni o procentualnoj zastupljenosti jalovine u rudi. Intenzitet minerala je dat u četiri stupnja — velik, srednji, neznatan i tragovi.

Zastupljenosti minerala u ležištu izgleda ovako:
velika: pirit
srednja: sfalerit i galenit
neznatna: arsenopirit, halkopirit, pirhotin, markasit, siderit, kvarc i kalcit.
tragovi: tetraderit, bulanžerit, burnonit, džemsonit, stanin, kubanit, valerit, bornit, halkozin, kovelin, manganosiderit-oligonit, ankerit i kutnahorit.

Ekstenzitet minerala — je dat u pet stupnjeva. Podela je izvršena na osnovu mikroskopskih ispitivanja. Procenti se odnose na broj preparata, računajući na ukupno 100, u kojima je rudnomikroskopskim analizama nađeno prisustvo pojedinih mineralnih vrsta. Tako je dobijen sledeći ekstenzitet:

preko 90% — pirit
preko 70% — 90% galenit i sfalerit
preko 30% — 70% — halkopirit, arsenopirit, markasit, pirhotin, kvarc i siderit
preko 10% — 30% — tetraedrit, bulanžerit, kalcit i manganosiderit-oligonit
ispod 10% — burnonit, džemsonit, stanin, halkozin, kovelin, bornit, kubanit, valerijit, ankerit i kutnahorit.

MINERALNE PARAGENEZE I FAZE DEPONOVANJA MINERALA

Na osnovu proučavanja mineralnih asocijacija i fizičko-hemijskih uslova koji su vladali za vreme postanka rudnog ležišta, moguće je izdvojiti 5 faza stvaranja minerala od kojih su četiri primarne i jedna sekundarna i to: pirometasomatska, katatermalna, mezotermalna, epi-teletermalna i faza pretvaranja minerala pod dejstvom supergenih procesa.

Hidrotermalni rastvori koji su prodirali prema površini imali su u početnom stadijumu nesumnjivo visoke temperature i prisustvo gasovite faze. Visokotemperaturnim hidrotermalnim procesima prvo su bile zahvaćene okolne stene koje su na taj način pretrpele značajne promene.

Kao rezultat visokotemperaturnih pirometasomatskih procesa u stvaranju minerala došlo je do pojave granita, vezuvijana i volastonita, reakcionim dejstvom rastvora na karbonatne stene. Minerali ove faze stvaranja su neznatnog rasprostranjenja i nalaze se u minimalnim količinama, bar u do sada otkrivenim delovima ležišta. Zapravo stvaranje ovih visokotemperaturnih parageneza pripada procesima koji su neporsedno prethodili rudnoj mineralizaciji.

Glavne količine sulfidnih ruda počele su se deponovati iz rastvora takođe u visokotemperaturnom stadijumu koji bi odgovarao katatermalnoj fazi. Proces stvaranja ruda tekao je pri stalnom ali postepenom opadanju temperature.

Mezotermalna faza postanka minerala nastavila se neposredno posle katatermalne i takođe su i u tom temperaturnom intervalu deponovane znatne količine olovo-cinkanih ruda. Tako su u ove dve faze hidrotermalnog stadijuma stvorene gotovo sve količine minerala korisnih metala u ovom ležištu.

U epitermalnoj fazi pa čak delom i u teletermalnim uslovima, usledila su izvesna stvaranja minerala ali ona imaju veoma potčinjenu ulogu u postanku ležišta.

Faza stvaranja minerala u zoni supergenih procesa ograničena je na one delove ležišta koji su bliže površini, a minerali su stvarani u oksidacionim i redukcionim uslovima. Mestimično se nalaze i značajnija nagomilavanja ovih minerala koji su postali razaranjem nekadašnjih primarnih rudnih tela. U ležištu ima i recentnih stvaranja minerala u starim rudarskim radovima.

Na osnovu posmatranja paragenetskih i strukturnih odnosa minerala u olovo-cinkanoj rudi, moguće je izdvojiti više mineralnih parageneza i po nekoliko generacija stvaranja pojedinih mineralnih vrsta u ovom ležištu.

Zapaža se da pojedine mineralne komponente znatno preovlađuju i da se po nekoliko puta javljaju u raznim mineralnim asocijacijama u rudi dok se druge nalaze sporadično u glavnom kao njihovi pratioci a ponekad i toliko retko da se radi o čisto mineraloškim pojavama.

U ležištu se u osnovnom mogu izdvojiti tri glavne mineralne parageneze: piritska, sfaleritska i galenitska. One su približno tako i deponovane u ležištu prema tom izloženom redosledu.

Piritska parageneza. — Upravo sa ovom paragenezom počinje stvaranje ležišta u uslovima u kojima su hidrotermalni rastvori bili veoma bogati gvožđem. Parageneza se nalazi uglavnom u podinskom delu rudnih tela i sadrži najvećim delom pirit, koji se često javlja u monomineralnim masama mestimično i neznatno kataklaziran. Sem pirita ima i prilično arsenopirita, nešto pirhotina (jer je najvećim delom pretvoren u pirit) vrlo malo halkopirita i tragova galenita i sfalerita. Od minerala ganga ima neznatno kvarca koji je obično idiomorfno razvijen.

Minerali iz ove parageneze su stvarani na visokim temperaturama mada ima indikacija da su znatne količine pirita nastale sekundarno od pirhotina. Na visoke temperature stvaranja ukazuje ne samo asocijacija pirit-pirhotin nego i pojava kristalografskih prorastanja halkopirita sa sfaleritom (zvezdice skeletnih kristala sfalerita u halkopiritu).

Promene na mineralima su izvršene često vrlo intenzivno a izazvane su naknadnim hipogenim i supergenim procesima. Tako su najveće količine pirhotina transformisane u pirit i markasit, a halkopirita, koji je ovde prisutan u neznatnim količinama, u halkozin, kovelin i bornit.

Kristali kvarca iz ove parageneze su u pogledu geotermometrijskih ispitivanja dali nepouzdane rezultate za temperaturu stvaranja, jer u njima praktično nije nađeno tečnih ili gasovitih inkluzija u dovoljnim količinama za dekripitacionu metodu.

Parageneza sfalerita — je usledila posle stvaranja glavnih količina minerala piritske parageneze i prostorno se javlja uglavnom u središnim delovima rudnih tela. Mineralni rastvori su i u ovom slučaju, još uvek bili bogati gvožđem te je pirit obilno zastupljen i u ovoj paragenezi. Mestimično se nalaze znatna krupnokristalna nagomilanja, delimično kataklaziranog sfalerita. Sfalerit je često korodovan halkopiritom, galenitom a ređe i sulfoantimonidima najčešće džemsonitom sa kojim je ponekad i poikilitski prorastao. Sa svoje strane sfalerit koroduje pirit iz ranije faze stvaranja. Gotovo uvek sfalerit sadrži halkopiritska izdvajanja a ređe pirhotinska dok su kubanitska i valeritska veoma retka. Stanin se javlja u ovoj paragenezi u vidu inkluzija u sfaleritu ali je to samo mineraloška pojava.

Od minerala ganga u ovoj paragenezi su najčešći karbonati i to siderit, manganosiderit — oligonit i drugi, koji su obično mlađi u sukcesiji stvaranja od glavnih količina sfaleritske komponente iz ove parageneze.

Temperature stvaranja kretale su se od katatermalnih do mezotermalnih uslovljavajući na taj način javljanje sfalerita u više generacija. Na više temperature ukazuju kristalografska izdvajanja halkopirita, pirhotina, kubanita i valerita a zatim sadržaj izomorfnih primesa gvožđa kao i paragenetsko mesto sfalerita u odnosu na ostale minerale u rudi.

Galenitska parageneza — je u ležištu znatnog rasprostranjenja i obično se nalazi u povlatnim delovima rudnih tela. Najveće mase galenita stvarane su sa sfaleritima iz višetemperaturnih faza ali je u redosledu galenit nešto kasnije deponovan od sfalerita što je u stvari i normalan paragenetski odnos ovih minerala u olovo-cinkanim ležištima. Galenit je uglavnom krupnokristalan i samo mestimično neznatno kataklaziran. Opšta hemijska karakteristika svih galenita je njihova znatna srebronosnost.

U ovoj paragenezi se mogu naći sa galenitom gotovo i svi drugi rudni minerali koji su prisutni u ležištu kao pirit, pirhotin, sfalerit, arsenopirit, zatim halkopirit, burnonit i ostali sulfoantimonidi.

Od minerala ganga čest je kvarc obično idiomorfno razvijen, zatim kalcit i nešto siderita.

Galenit je stvaran u više generacija koje se mogu pratiti na osnovu njihovih strukturnih odnosa u ležištu a donekle i na osnovu njegovog hemizma. Visokotemperaturne generacije su obično bez incluzija od minerala iz grupe sulfosoli, dok su generacije iz nižetemperaturnih faza prorasle sa njima uglavnom sa sulfoantimonidima najčešće sa bulanžeritom.

Na osnovu dosadašnjih ispitivanja nije bilo zapaženo prisustvo samorodnih metala u galenitu.

U pojedinim delovima ležišta galenit se neznatno pretvara u ceruzit i anglezit pod dejstvom kasnijih supergenih procesa ali je ova pojava ograničena samo na rudna tela bliže površini.

Halkopirit — je vrlo rasprostranjen mineral ali neznatnog intenziteta u ležištu. On se provlači kroz sve navedene glavne parageneze i takođe je stvaran u više generacija ali nije izdvajana njegova posebna mineralna parageneza u ležištu jer mineralni rastvori nisu bili u toku čitavog rudnog procesa značajnije obogaćeni bakrom. Zato su minerali bakra oskudno zastupljeni i raspršeni u ovom olovo-cinkanom ležištu, bez većih nagomilanja.

Ostali minerali iz grupe sulfosoli koji su nađeni u ovom rudnom ležištu, javljaju se sporadično i u minimalnim količinama tako da se tu radi uglavnom o mineraloškim pojavama. Ovi minerali su deponovani posle stvaranja glavnih količina sfalerita i galenita i deponovani su na nešto nižem temperaturnom intervalu koji bi odgovarao mezo do epitermalnom hidrotermalnom stadijumu.

Iz analize dobijenih rezultata o mineralnom sastavu, strukturnim, paragenetskim i geohemijskim odnosima moguće je postaviti sledeći red deponovanju minerala u rudnom ležištu:

Pirometasomatska faza — granat, vezuvijan i volastonit.
Hidrotermalni stadijum:
Katatermalna faza — pirit I — pirhotin I — halkopirit I — arsenopirit I — sfalerit I — kubanit — valerit — stanin I — galenit I — kvarc I.
Mezotermalna faza — pirit II — sfalerit II — pirhotin II — stanin II — arsenopirit II — markasit I — tetraedrit I — galenit II — halkopirit II — burnonit — bulanžerit — džemsonit I — siderit — manganosiderit I — oligonit — kvarc II — kutnahorit — ankerit — kalcit.
Epitermalna — teletermalna faza — galenit III — sfalerit III — tetraedrit II — pirit III — markasit II — bulanžerit II — džemsonit II — kvarc III — kalcit II — siderit II.
Faza pretvaranja — bornit, halkozin, kovelin, ceruzit, anglezit, melanterit, malahnit, gips i limonit.

TEMPERATURE STVARANJA LEŽIŠTA

Možemo sa sigurnošću pretpostaviti da su početne temperature stvaranja minerala u ovom ležištu bile znatno visoke. Na to ukazuju mnogi podaci u prvom redu mineralni sastav, strukturni odnosi i prisustvo minerala geoloških termometara a zatim, i analitički podaci koji se odnose na rezultate dobijene za dimenziju elementarne ćelije i sadržaj gvožđa u sfaleritima.

Nalazak vezuvijana i granata a kasnije i stvaranje znatnih količina pirita (delom nastalog i od pirhotina) ukazuje na visokotemperaturne uslove postanka mineralnih parageneza u kojima se ovi minerali javljaju. Kubanit i valeriit su geološki termometri koji ukazuju na temperature stvaranja od 250 odnosno 225°C (po B o r c h e r t - u) a njihovo izdvajanje u kristalografski orijentisanim inkluzijama po sfaleritu, ukazuje na eventualno prvobitno postojanje halkopirhotinskih izdvajanja a to znači, da su temperature stvaranja bile i znatno veće od gore navedenih za kubanit i valeriit. Međutim, iz eksperimentalnih podataka prema postojećoj literaturi, temperature postanka koje karakterišu raspad čvrstog rastvora

sfalerit — halkopirhotin nisu sasvim sigurno utvrđene. U laboratorijskim uslovima kao najniže moguća temperatura smatra se 240°C a nesumnjivo je i mnogo viša, jer se za neka halkopirhotinska izdvajanja u sfaleritima iz nekih eruptivnih stena, smatra da su izvršena na temperaturi od oko 1000°C.

Da bismo dobili što tačnije podatke o temperaturama stvaranja minerala u ovom ležištu izvršili smo i neka geotermometrijska ispitivanja na sfaleritima i kvarcu.

Na osnovu rendgenostrukturnih analiza dve trećine ispitivanih primeraka sfalerita imaju dimenzije elementarne ćelije koja je karakteristična za visokotemperaturna stvaranja i ovi podaci su saglasni sa analitičkim podacima za sadržaj gvožđa u njima. Hemijske analize svih ispitivanih primeraka sfalerita pokazale su sadržaj gvožđa koji karakteriše ove sfalerite kao marmatite odnosno da odgovaraju visokotemperaturnom varijetetu ZnS.

Napomenuli bi da su dobijene previsoke vrednosti za temperature postanka sfalerita u ovom ležištu na osnovu K u l l e r u d-ovog dijagrama. Radi toga i nismo vršili korekcije temperature stvaranja za sadržaj mangana i kadmijuma kao ni za pritisak, te su dobijene vrednosti u stvari najniža temperatura postanka sfalerita u ovom ležištu (po K u l l e r u d-u). Takođe napominjemo da su svi ispitivani sfaleriti imali prisutan pirhotin u svojoj paragenezi i na taj način je bio ispunjen uslov za korišćenje K u l l e r u d-ovog temperaturnog dijagrama.

Iz sfaleritske i iz piritske parageneze uzeti su primerci kvarca za geotermometrijska ispitivanja metodom dekripitacije. Na taj način je ispitano 6 primeraka kvarca. Od njih su dva bila potpuno bez inkluzija dok su ostala 4 primerka dala nesigurne dekripitograme, na kojima su se odrazili samo pojedinačni pikovi i to na sledećim temperaturama:

Primerak №	7	na temperaturi	330, 340 i 390°C
„	30/1	„	360 i 460°C
„	31	„	340°C
„	32	„	360°C

Na osnovu ovih analiza može se sa sigurnošću zaključiti da se radi o visokim temperaturama postanka, mada su ovi kristali kvarca bili oskudni sa inkluzijama i radi toga nisu dali idealne dekripitograme. Dobijene vrednosti ovom metodom, saglasne su sa temperaturama koje karakterišu katatermalnu fazu stvaranja minerala, koju i pretpostavljamo kod glavnog stadijuma deponovanja minerala u navedenim mineralnim paragenezama ležišta.

Na kraju uopšte uzev, može se smatrati da su glavne količine korisnih minerala stvorene u kata do mezotermalnoj fazi hidrotermalnog stadijuma. Vrlo neznatne i za ležište podređene količine minerala, stvorene su na nižim temperaturama u epi i teletermalnoj fazi. Ova poslednja niskotemperaturna stvaranja minerala se dosta jasno uočavaju svojim paragenetskim i strukturnim odnosima u ležištu. Verovatno da su sveroidni sfaleriti koji su nađeni po pukotinicama galenita stvarani na temperaturama ne većim od 100°C.

GENETSKI TIP LEŽIŠTA

Uslovi za stvaranje olovo-cinkanog ležišta nastali su onda kada su mineralni rastvori prodrli u kontaktnoj zoni kvarc-liskunovitih škriljaca (u kojima se nalazilo i nešto mermerisanih krečnjaka) i filita. Filiti su u ovom slučaju služili kao ekran rudnim rastvorima. Poreklo ovih rudnih rastvora je nesumnjivo u vezi sa tercijarnom magmatskom delatnošću u ovoj oblasti.

Rezultati koji su dobijeni putem mnogobrojnih ispitivanja izvršenih u cilju određivanja mineralnog sastava rude, paragenetskih i strukturnih odnosa, temperature postanka i hemijskih karakteristika minerala, ukazuju da se ovde radi o jednom polimetaličnom rudnom ležištu, koje pripada tipu hidrotermalnih metasomatskih tvorevina, gde su mineralni rastvori deponovali svoj rudni sadržaj uglavnom u kata- do mezotermalnom temperaturnom intervalu. Visokotemperaturne pirometasomatske kao i epi- do teletermalne tvorevine nemaju bitnijeg značaja za ovo sulfidno rudno ležište.

ZAKLJUČAK

Olovo-cinkano ležište Farbani potok lokalizovano je na kontaktu kvarc-liskunovitih škriljaca i filita. U ležištu je određeno više tipova metamorfnih i eruptivnih stena od kojih je od posebnog značaja prisustvo andezita i dacita.

Stene iz neposredne okoline rudnog ležišta su pretrpele slabije ili jače promene pod dejstvom hidrotermalnih rastvora. Najizraženiji fenomeni tih pretvaranja su silifikacija, sericitizacija, karbonitizacija, hloritizacija i kaolinizacija. Kao rezultat hidrotermalnih procesa na okolne stene došlo je i do stvranja znatnih količina halojzita odnosno hidrohalojzita, koje mogu biti i od ekonomskog značaja.

Mineralni sastav rude je zastupljen tvorevinama hidrotermalne faze, gde su mineralni rastvori metasomatski zamenili okolne stene deponujući minerale u vidu kompaktnih rudnih tela. Glavni rudni minerali su pirit, sfalerit i galenit koji imaju ne samo najveće rasprosrtanjenje nego i najveću količinsku zastupljenost u ležištu. Sem ovih minerala ima još i znatan broj sulfida i sulfo soli ali se oni javljaju u podređenim količinama u rudi. Gang je kvarcni i karbonatni. Među mineralima iz karbonatne serije nađeno je prisustvo i kutnahorita, što je od regionalno mineraloškog značaja, jer je ovo tek druga lokalnost ovog minerala u Jugoslaviji.

Međusobno prorastanje minerala je uglavnom jednostavno. Struktura rude je zrnasta i kompaktna a minerali su krupnokristalni i samo neznatno mestimično kataklazirani. Retko se sreću nešto komplikovaniji strukturni odnosi sa mirmekitskim i poikilitskim strukturama.

Geotermometrijska ispitivanja su dala podatke o temperaturama postanka minerala na osnovu kojih se može smatrati da je ovo rudno ležište stvarano na višim temperaturama. Na ovo ukazuju hemijske i kristalografske karakteristike sfalerita, (sfalerit bi odgovarao marmatitu) podaci dekripitacionih analiza kvarca kao i prisustvo minerala geoloških termometara.

Minerali su u ležištu stvarani u više faza, počevši od pirometasomatske do teletermalne i faze površinskog pretvaranja. Međutim minerali korisnih metala su deponovani uglavnom u kata do mezo fazi, tako da su sva ostala stvaranja bez praktičnog značaja za rudno ležište.

Na osnovu strukturnih paragenetskih i hemijskih karakteristika minerala, izdvojene su glavne parageneze u ležištu — piritska, sfaleritska i galenitska u kojima se minerali javljaju u više generacija. Redosled stvaranja minerala je normalan i sasvim odgovara ovakvom tipu rudnih ležišta. Prvo su iz hidrotermalnih rastvora deponovani sulfidi gvožđa, zatim, cinka i olova i najzad sulfo-antimonidi olova i bakra.

Prema rezultatima koji su dobijeni putem mnogobrojnih minerogenetskih ispitivanja, može se zaključiti da se ovde radi o jednom polimetaličnom rudnom ležištu, koje pripada tipu hidrotermalnih metasomatskih tvorevina, gde su mineralni rastvori deponovali svoj rudni sadržaj uglavnom u kata do mezo termalnim temperaturnim uslovima postanka.

(Predato za štampu februara 1974. god.)

LITERATURA

1. Borchert H. 1934: Über Entmischungen im System Cu — Fe — S und ihre Bedeutung als geologisches Thermometar. Chemie d. Erde № — 9.
2. Huang C. K. and Kerr P. P. 1960: Infrared study of the carbonate minerals. The Americen Mineralogist vol. 45.
3. Kullerud G. 1953: The FeS — ZnS system a geological thermometer. Nors. Geol. Tidsskrift B. 32. Bergen.
4. Lougen F. K., Kreig D. K. 1962: Polnostju gidratirovanni galluzait. Voprosi mineralogii glin. Moskva.
5. Radusinović D. 1967: Nalazak kutnahorita u olovo-cinkanom ležištu Farbani Potok na Novom Brdu. Radovi Geološko-rudarskog Instituta za istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina. № — 3, Beograd.
6. Ramdohr P. 1955: Die Erzmineralien und ihre verwaschungen. Berlin.
7. Schneiderhöhn H. 1955: Erzlagerstätten. Stuttgart.

Summary

DUŠAN RADUSINOVIĆ[1]

FARBANI POTOK LEAD-ZINC DEPOSIT

Farbani Potok lead-zinc deposit is situated in the eastern slopes of Kopaonik range, about 30 km E of Priština, Yugoslavia. The mineralization is localized along the contacts of quartz-micaschists and philites; these crystalline schists have been, near the deposit, intruded by andesite and dacite.

Due to the hydrothermal action, the rocks surrounding the deposit developed more or less intensive alterations, where the numereous secondary minerals, such as sericite, chlorite, neoquartz, neocalcite and, particularly, kaolinite and haloisite, have been formed. Locally, the haloisite concentrations can be considered as of economic importance.

[1] Institute for geological and mining investigation and exploration of nuclear and other raw materials, Beograd.

The mineral composition of ore reflects the hydrothermal origin, and the solutions have metasomatically replaced the surrounding rocks and deposited the minerals in form of massive ore bodies. The main ore minerals, pyrite, sphalerite and galena, have been formed generally in the given order. The other sulphides and sulpho-salts are also present, but in subordinate concentrations. The gangue is carbonates and quartz. The kutnahorite has been observed in the carbonate gangue; its presence is considered of regional mineralogic importance, due to the fact that this mineral has been identified previously at only one locality in Yugoslavia so far.

The geotermometric results indicate that the ore minerals have been formed at higher temperatures, corresponding to cata- to mesothermal zones of hydrothermal phase of mineral formation. Some minor amounts of minerals have been formed in the pneumatolitic-hydrothermal phase (skarn phase), and partly in the epithermal phase as well, but due to their highly limited concentrations, can be considered as of no practical importance.

According to all presented data, it can be concluded that Farbani Po- three main parageneses — pyritic, sphaleritic and galena —, with corresponding ore and gangue minerals, can be identified. Several generations of mineral associations, formed under different physical and chemical environmental conditions, have been observed. The iron sulphides were first deposited, and were followed by zinc, copper and lead sulphides; the sulpho-salts — lead and copper sulpho-antimonides —, have been deposited in final mineralizing processes. The supergene phase, featured by oxidation zone with cerusite, anglesite and other minerals, and the reduction zone with secondary sulphides, is well developed locally.

According to all presented data, it can be concluded that Farbani Potok lead-zinc deposit belongs to endogene type, formed by the hydrothermal and metasomatic processes.

Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina. Sveska 9, 1974. godine

STANIMIR PUTNIK

UDK: 553.43:551.311.7 (497.11)

ORUDNJENJE BAKRA U DIJABAZU TAORSKE REČICE

(sa 1 slikom i 1 prilogom)

Iznošenjem rezultata istraživanja i ispitivanja na ovoj lokalnosti, u prvom redu želimo da ukažemo na vrlo značajan mineralni potencijal dijabaz-rožnačke formacije u nas, a naročito u smislu bakronosnosti.

Orudnjenje bakra deponovano je u pinitsko-halkopinitskoj impregnacionoj zoni, koja se sastoji od hidrotermalno izmenjenog, brečiziranog i mestimično intenzivno mehanički zdrobljenog dijabaza. Zona je vrlo složene strukturne građe, ispresecana je nizom disjunktivnih deformacionih oblika koji zajedno sa silifikacijom kontrolišu orudnjenje. Isključivi nosilac orudnjenja je halkopirit, asociran sa neuporedivo većom količinom pirita u stenskoj masi brečizirane zone. Prema rezultatima hemijskih analiza sistematskog oprobavanja, sadržaj bakra veoma varira u vrlo širokim granicama od 0,5 do 8,25%.

Uže područje Taorske rečice nalazi se između Kosjerića i Povlena u zapadnoj Srbiji ispod Kamenite kose, odnosno između Gornjeg i Donjeg Taora u ataru istoimenog sela. To je tipičan planinski predeo, sa svim njegovim karakterističnim obeležjima. Najviši delovi terena predstavljeni su vrhovima: Kamenita kosa (880 m) i Humka (800 m), a glavnu hidrografsku arteriju čini nepresušna Taorska rečica sa svojim razgranatim pritokama. Pristup terenu moguć je isključivo terenskim vozilima preko Kosjerića i Valjeva.

Ostaci starih rudarskih radova ukazuju na povremenu geološko-rudarsku aktivnost na ovom području još iz vremena Rimljana i Sasa, odnosno da su pojave bakrove mineralizacije u reonu Taorske rečice, bile još ranije poznate. Međutim, u novije vreme tek 1936. godine francuski geolog M i o h e l, po nalogu Borske kompanije, izvršio je preliminarno oprobavanje izdanaka bakrove mineralizacije, starih rudarskih radova (samo mestimično) i ostataka deponovane rude na površini. Na bazi dobijenih rezultata hemijskih analiza (na Cu, Au, Ag i S), dao je sledeću ocenu: »Mišljenja smo da kompanija treba da posveti veću pažnju ovim pojavama, jer promatrana nalazišta opravdavaju istraživanja, naročito u reonu Rečice, Lajkovače i Laništa«.

Od tog vremena pa sve do 1970. godine, problem bakrove mineralizacije u dijabazima nije ozbiljno tretiran na ovom području. Aprila 1970. godine na osnovu inicijative geološke službe Valjaonice bakra »Slobodan Penezić — Krcun« i Rudarsko-topioničarskog basena Bor, Institut za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, pristupa prvim sistematskim istraživanjima bakrove mineralizacije na području rudonosne zone Radanovci — Taor. U okviru ovih istraživanja (kompleksna detaljna istraživanja), na području Taorske rečice u istoj godini registrovano je više izdanaka bakrovog orudnjenja. Nakon mestimičnog površinskog okonturivanja mineralizovane zone, u 1971. godini izbušene su 2 istražne bušotine. Međutim, zbog izrazito nepovoljnih uslova (fizičko-mehaničkih osobina stenskih masa) za ovaj metod istraživanja, u 1972. i 1973. god. izvršeno je otvaranje, permanizacija i delimična izrada starih geološko-rudarskih istražnih radova. Na osnovu na ovaj način dobijenih rezultata došli smo do podataka u smislu davanja ocene perspektivnosti područja Taorske rečice sa aspekta bakronosnosti.

GEOLOŠKA GRAĐA TERENA

Uže područje ove lokalnosti u pogledu litološkog sastava, za razliku od veoma komplikovanih strukturnih odnosa, odlikuje se jednostavnošću. Naime, ono se u osnovi sastoji od magmatskih stena i to: gabra i dijabaza (prilog 1), srednje i gornjejurske starosti. Međusobni kontakt ovih stena je pretežno tektonskog karaktera. Duž ovog kontakta došlo je do drobljenja i brečiziranja stenskih masa, koje je daleko više i intenzivnije manifestovano u dijabazu nego u gabru. Na taj način dijabazi u kontaktnim delovima, kao i u njihovoj neposrednoj, a po nekad i daljoj okolini, tektonski su predisponirani za bolje nastupanje hidrotermalnih rastvora koji su mestimično uslovili stvaranje sulfidne mineralizacije.

U delovima terena gde izostaje tektonski kontakt dijabaz — gabro, na osnovu mikroskopskih ispitivanja mestimično je konstatovan postupan prelaz dijabaza u gabro i obratno. Partije ovih prelaznih stena međutim, su vrlo malih dimenzija i praktično ih je nemoguće posebno izdvojiti.

Gabro

Našim dosadašnjim istraživanjima i ispitivanjima zahvaćen je samo obodni deo gabra, koji je mestimično, u tektonskom kontaktu u severoistočnom delu ove lokalnosti (prilog 1), sa dijabazom. Prema makroskopskim opažanjima stena je kompaktna, homogena i izrazito zrnastog habitusa. Boje je najčešće sivozelene, mada se mestimično mogu sresti partije sivo ili zeleno obojene.

Mikroskopskim ispitivanjima (M. Cukućan) konstatovana je hipidiomorfno zrnasta struktura. Stena se u osnovi sastoji od krupnih zrna sosiritisanog plagioklasa, dijalaga i zelene horblende. Gotovo čitava stenska masa je ispresecana veoma razgranatim spletovima prenitskih žica, znatno ređe hloritskih i kalcitskih, a sasvim retko kvaronih. Od akcesornih sastojaka stena najčešće sadrži neprovidne minerale (pirit) i ređe apatit.

Dijabaz

Na ovom području dijabaz predstavlja jedinstveni deo stenske mase, koja se najverovatnije javlja u vidu plitke intruzije uz peridotit i gabro na potezu Radanovci — Taor. Ovakve intruzije prema dosadašnjem stepenu poznavanja predstavljaju najpovoljniju sredinu za pojavljivanje bakrove mineralizacije u dijabaz-rožnačkoj formaciji zapadne Srbije.

Prema makroskopskom izgledu stena je najvećim delom tamnozelene boje, vrlo sitnozrne teksture, tako da se mineralni sastojci makroskopski ne mogu lako determinisati.

Mikroskopskim ispitivanjima (M. Cukućan, N. Kreminac) utvrđena je ofitska struktura. Stena se sastoji od alterisanog albita, velike količine hlorita, izmešanog sa zemljastim epidotom i znatno manje količine svežeg monokliničnog piroksena. Čitava stenska masa dijabaza prožeta je kalcitskim žicama, koje redovno prate manje količine epidota i prenita. Od akcesornih sastojaka stena sadrži obilje neprovidnih minerala, najčešće pirita.

Strukturne karakteristike

Uža okolina Taorske rečice u strukturološkom pogledu, isključivo je predstavljena disjunktivnim strukturnim oblicima. Naime, u osnovi je ispresecana sa dva sistema raseda gotovo međusobno upravnim. Prvi i prema našem mišljenju genetski stariji sistem raseda, karakteriše se pružanjem severozapad-jugoistok, a drugi (mlađi) sistem, severoistok-jugozapad.

Oba sistema ovih ruptura praćena su intenzivno razvijenom pukotinskom tektonikom. Pukotine, prema svojim elementima zaleganja, najčešće odgovaraju nekom od dva pomenuta sistema ruptura, ali se ponekad sreću i znatna odstupanja od istih. Razgranatost, učestanost i prostorni položaj ovih raseda i pukotina vidno su se odrazili na fizičko-mehaničke osobine stenskih masa u pojedinim delovima ove lokalnosti.

ORUDNJENA PIRITSKO-HALKOPIRITSKA ZONA

Orudnjenje bakra u predelu Taorske rečice, lokalizovano je u centralnom delu stesnke mase dijabaza, na kontaktu sa gabrom ili u njegovoj neposrednoj blizini. Ova stenska masa prostire se pravcem severozapad-jugoistok, počev od Visa u ataru sela Radanovci, preko Taora do Povlenske reke. Površinski je okonturena (geološko kartiranje 1:10 000, 1970. god. — ekipa Instituta) na dužini od preko 10 km sa prosečnom širinom od 2 km.

Pored orudnjenja na ovoj lokalnosti, dosadašnjim istraživanjima, u okviru ove stenske mase dijabaza, otkriveno je ležište bakra izvor Lajkovače (krajnji jugoistočni deo) i nekoliko rudnih pojava bakrove mineralizacije i to: Lanište, Laze, Markov potok, Goveđa glava i Mravinci, koje na osnovu dosadašnjeg stepena poznavanja pripadaju jedinstvenom rudnom polju Radanovci — Taor.

Orudnjenje bakra na ovoj lokalnosti, deponovano je u intenzivno brečiziranoj i hidrotermalno izmenjenoj zoni dijabaznog sastava. Ovaj dijabaz, brečaste teksture sa retko raspoređenim komadima rožnaca, cementovan je, mestimično isključivo rudnim mineralima (metasomatsko potiskivanje petrogenih minerala). Prema petrološkim ispitivanjima (M. C u k u ć a n), fragmenti dijabaza, sastoje se od igličastog albita, ofitski raspoređenog po hloritsko-epidotskoj masi, dok su komadi rožnaca izgrađeni od silicijske materije izmešane sa limonitom. Hidrotermalne promene predstavljene su intenzivnom hloritizacijom, karbonatizacijom i silifikacijom, a u znatno manjem obimu albitizacijom i epidotizacijom, u vidu šlira ili spletova žica debljine od nekoliko milimetara do blizu 10 cm. Među ovim manifestacijama hidrotermalnih izmena, naročiti značaj ima silifikacija, koja prema našim dosadašnjim iskustvima, gotovo zakonito kontroliše orudnjenje.

Usled intenzivnog razvića deformacionih oblika disjunktivne tektonike, ova impregnaciona zona zadobila je blokovsku strukturu i gotovo trouglastu formu u do sada istraživanom delu. Učestanost prerudnih (severozapad-jugoistok) i postrudnih (severoistok-jugozapad) struktura je gotovo brojno identična. Duž ovih struktura i pukotina, često se uočavaju tragovi kretanja u vidu dosta dobro očuvanih strija. Veoma komplikovani strukturni odnosi u okviru ove rudonosne zone, pored uticaja na prostorni razmeštaj bakrove mineralizacije i položaj pojedinih rudnih blokova (prilog — 1), redovno uslovljavaju intenzivne promene fizičko-mehaničkih osobina stenskih masa u njoj, koje se često na pojedinim mestima manifestuju totalnim drobljenjem.

Način pojavljivanja i tip orudnjenja

Praktično, jedini nosilac orudnjenja u ovoj orudnjenoj zoni je halkopirit (sfalerit se sreće u vrlo malim količinama, gotovo tragovima), koji se javlja u asocijaciji sa količinski dominantnim piritom, u različitim količinskim proporcijama. Oba ova minerala u orudnjenoj zoni, sreću se kako u vidu impregnacija, tako i u obliku masivne piritsko-halkopiritske rude. Međutim, u smislu količinske zastupljenosti impregnacioni tip orudnjenja višestruko nadmašuje pojave masivne piritsko-halkopiritske rude u ukupnoj masi mineralizovane zone, odnosno predstavlja osnovni tip orudnjenja.

U okviru impregnacionog tipa orudnjenja, gde gustina impregnacija varira od gotovo tragova do vrlo gustih impregnacija, konstatovali smo izvesne pravilnosti kako u količinskom smislu, tako i u načinu pojavljivanja halkopirita. Naime, našim istraživanjima, konstatovali smo da halkopirit, najčešće prati piritom obogaćene delove mineralizovane zone. S druge strane, u pogledu načina pojavljivanja pirit i halkopirit, pored veoma finozrnih impregnacija, često mikronskih veličina, srećemo još i u vidu šlira, sočiva i žica debljine od nekoliko milimetara do preko 10 cm, nepravilno raspoređenih u piritsko-halkopiritskoj impregancionoj masi zone. Oblik rudnih tela kod impregnacionog tipa orudnjenja vrlo je razgranat i složen, a izvlači se isključivo prema podacima sistematskog opro-

bavanja. Najčešće su to sočivaste forme, vrlo promenljivih dimenzija, koje »prstasto« isklinjavaju. Prema do sada dobijenim rezultatima hemijskih analiza sistematskog oprobavanja, sadržaj bakra, u ovom tipu orudnjenja varira u širokom dijapazonu od 0,05 do 1%.

Pored pomenutog tipa na ovoj lokalnosti, orudnjenje bakra javlja se i u vidu masivne piritsko-halkopiritske rude. To su, najčešće, manja rudna tela sočivastog oblika, sa jasnom granicom prema impregnacionoj rudi, mada i postepeni prelazi u tom smislu nisu retkost. Za sada utvrđena debljina ovih sočiva na istraživanom delu orudnjene zone, varira od 2 do preko 3,5 m, a jedno od njih presečeno je sa oba stara istražna rada (potkop P-1, 7—10 m i potkop P-2, 28—31,5 m), odnosno utvrđeno je na dužini od oko 60 m (prilog — 1). U okviru ove masivne rude, zapazili smo vrlo interesantnu brečastu teksturu, gde u količinski dominantnoj, vezivnoj, piritsko-halkopiritskoj masi, »plivaju« sitni fragmenti dijabaza veličine od nekoliko milimetara do retko više od 5 cm. U delovima pojavljivanja rude, prema podacima hemijskih analiza sistematski uzetih proba, sadržaj bakra varira u granicama od 2,18 do 8,25%.



Sl. 1 — Snimak uzorka masivne rude
piritsko-halkopiritska ruda (1) i dijabaz (2)

Fig. 1 — Photograph of the sample of the massive ore
pyrite-chalcopyrite ore (1), diabase (2)

Prema rezultatima hemijskih analiza na detaljno istraživanom delu, orudnjene, piritsko-halkopiritske impregnacione zone, izdvojili smo dva orudnjena intervala (prilog — 1). Prvi rudni interval konstatovan je u oba stara rudarska rada na približnoj dužini od oko 100 m, pri srednjoj moćnosti od 9,0 m i srednjem sadržaju od 1,83% Cu. Drugi rudni interval

(prilog — 1), javlja se u vidu sočivastog rudnog tela u potkopu P-2, debljine od preko 4,0 m, sa srednjim sadržajem bakra od 1,20%. Sadržaj zlata kreće se od 0,6 do 1 gr/t, a srebro varira 4 do 6 gr/t.

S obzirom na činjenicu, da se u asocijaciji rudnih minerala, u orudnjenoj zoni Taorska rečica, osim pirita i halkopirita, ostali minerali javljaju u neekonomskim količinama, bakrova mineralizacija u njoj, prema postojećim klasifikacijama sovjetskih geologa, nesumnjivo pripada piritsko-bakronosnom tipu (mednokolčedanij tip).

Mineralni sastav

Prema makroskopskim i rudnomikroskopskim ispitivanjima, osim pirita i halkopirita, u okviru istraživanog dela rudonosne zone, od metaličnih minerala registrovano je prisustvo sfalerita i limonita, a od nerudnih minerala kalcedona, kvarca i kalcita.

U daljem izlaganju iznećemo karakteristike svakog od navedenih metaličnih minerala u najkraćim crtama.

Pirit — Ovaj mineral je količinski najzastupljeniji, a u pogledu forme i veličine najraznovrsniji. Naime, javlja se najčešće u vidu zrna vrlo različitih dimenzija, od makroskopski vrlo uočljivih do mikronski sitnih. Kada se javlja u vidu zrna često je vrlo izlomljen i sa vidljivim manifestacijama metasomatskog potiskivanja stene. Pored ovih zrna, ovaj mineral sreće se još i u vidu vrlo pravilnih kristalnih formi.

Sfalerit — Količinsko učešće ovog minerala u asocijaciji metaličnih minerala, osim mineraloškog nema nikakvog praktičnog značaja. Sfalerit je žute boje, gotovo providan, što nesumnjivo ukazuje na vrlo nizak sadržaj gvožđa. Često sadrži sitnozrna halkopiritska izdvajanja (D. K l e u t — 1970), što navodi na zaključak da je nastao u gornjim granicama fizičko-hemijskih uslova njegovog stvaranja.

Halkopirit — Javlja se kao nesumnjivo mlađa tvorevina od pirita, zaklapa ga, potiskuje u vidu partija i plaža ili zapunjava mikroprsline u njemu (D. K l e u t — 1970).

Limonit — Sreće se pretežno u uslovima oksidacione zone, kao produkat kasnijih destruktivnih procesa kojima su zahvaćeni primarni minerali u prvom redu pirit i halkopirit. Pored tačkastih formi, gde je nastao na račun piritsko-halkopiritskih impregnacija, sreće se i u vidu šlira, sočiva i žica.

Rudnomikroskopskim ispitivanjima, a na bazi paragenetskih odnosa, D. K l e u t (1970/71) utvrdio je sledeći red stvaranja metaličnih minerala: pirit-sfalerit-halkopirit.

Međutim, prema mišljenju autora, u okviru asocijacije rudnih minerala na ovoj lokalnosti, verovatno, postoje dve generacije pirita. U tom smislu, pretpostavljamo da je prva generacija ovog minerala nastala u posebnoj fazi orudnjavanja, koju V. I. S m i r n o v naziva drugom ili piritskom etapom. Ova etapa postepeno je smenila prvu etapu orudnjavanja, u kojoj su se odigrale sve opisane hidrotermalne izmene stenskih masa u orudnjenoj zoni. U trećoj etapi orudnjavanja, prema našem mišljenju pored sfalerita i halkopirita, nastala je druga (mlađa) generacija pirita. Razumljivo je, da se površine stenskih masa orudnjenih u ovoj

(trećoj) etapi, ne poklapaju u potpunosti sa istom iz prethodne faze piritskog orudnjavanja (piritska etapa). Na ovaj način, po našem mišljenju dobijamo najprihvatljiviji odgovor, zašto se halkopirit najčešće sreće u delovima zone obogaćenim piritom. U vezi s tim, napominjemo da pitanje pirita II generacije još uvek ostaje otvoreno i da će tom problemu biti posvećena posebna pažnja u okviru proučavanja geneze sulfidne mineralizacije u narednim fazama istraživanja.

Geneza bakrovog orudnjenja

Na osnovu dosadašnjeg stepena poznavanja konstatovali smo, da je bakrovo orudnjenje vezano za takozvane »samostalne« partije dijabaza, koje, najverovatnije, u vidu plitkih intruzija zaležu unutar karakterističnih sedimentno-vulkanogenih tvorevina dijabaz-rožnačke formacije. U vezi s tim, pretpostavljamo da je bakrovo orudnjenje, najverovatnije, vezano za ovaj slabo diferencirani vulkanizam spilit-dijabazne formacije.

Vrlo naglašena strukturna kontrola, intenzivno brečiziranje u rudnoj zoni, mineralni sastav i metasomatsko potiskivanje (V. Vujanović — 1973) petrogenih minerala, nesumnjivo ukazuju na hidrotermalno poreklo bakrove mineralizacije. No, osim neosporno utvrđene činjenice da je orudnjenje redovno lokalizovano u dijabazima i brečama dijabaznog sastava, nismo uspeli da dokažemo njihovu neposrednu vezu. Međutim, prema dosadašnjem stepenu poznavanja, pretpostavka o istom poreklu hidrotermalnih rastvora i dijabaza iz istih magmatskih ognjišta čini nam se za sada najlogičnijom. Na ovaj način, hidrotermalni rastvori natapali su dijabaze za vreme i posle njihovog stvaranja (A. Zavaricki 1936) i u pogodnim strukturno-geološkim i geološkim uslovima omogućili su izdvajanje metaličnih minerala.

(Predato za štampu marta 1973. god.).

LITERATURA

1. Ćirić B.: — Neka zapažanja o dijabaz-rožnačkoj formaciji Dinarida. Vesnik Zavoda za geološka i geofizička istraživanja NR Srbije, knj. XI, Beograd.
2. Ćirić B., 1960: — Glavna obeležja eruptivno-rožnačkih tvorevina. Simpozijum o problemima alpskog inicijalnog magmatizma, ref. VIII, Sarajevo.
3. Petrovskaja N. V., 1964: — Geologija rudnih meseroždenij, tom VI, Izdateljstvo »Nauka«, Moskva.
4. Putnik S., Milutinović D., Višić S. i dr., 1970: Izveštaj o geološkim istraživanjima u reonu Kosjerić — Povlen za 1970. godinu. Fond str. dok. IGRI, Beograd.
5. Putnik S., Isailović S., Simić V. i dr., 1971: — Izveštaj o prospekciono-istražnim radovima na istraživanju bakra u zapadnoj Srbiji za 1971. godinu. Fond str. dok. IGRI, Beograd.
6. Putnik S., 1971: — Rudne pojave i mineralizacija bakra u rudonosnoj zoni Radanovci — Taor. Radovi IGRI, Beograd.
7. Putnik S., 1972: — Izveštaj o detaljnim istraživanjima bakra u zapadnoj Srbiji u 1972. godini. Fond IGRI, Beograd.
8. Zavarickij A. N., 1936: Kolječedanoje mestoroždenije Bljava na Južnom Urale i kolječedanije zaleži Urala voobšče, Izdateljstvo AN SSSR (Tr. Geol. in-ta Uf. AN SSSR, vip. 5).

Summary

STANIMIR PUTNIK[1]

COPPER-BEARING ZONE OF TAORSKA REČICA

The copper ore in diabase of Taorske Rečice is localised in the intensively brecciated and hydrothermally altered zone of diabasic composition and of very complex structure. The zone has been explored by the underground mining works (adit P-1 and P-2) at the length of about 100 m.

The exclusive ore bearer is chalcopyrite, which in association with quantitatively more dominant pyrite appears either in the form of impregnations or small lenses of massive pyrite-chalcopyrite ore. In the sense of quantity, the impregnation type of ore manyfold surpasses the occurrences of massive pyrite-chalcopyrite ore in the whole mass of ore zone, respectively represents the basic type of ore. According to the results of chemical analyses of systematic sampling, the content of copper in the range of the impregnation type of ore varies very widely from 0,05 up to 1%, and in the massive pyrite-chalcopyrite it ranges from 2,18 to 8,25%. At the total explored length of the zone according to the results of chemical analyses, two ore intervals have been discovered (App. 1). The first ore interval has been discovered in the both underground mining works at the approximate length of about 100 m, with the average thickness of 9 m and the average content of copper of 1,83%. The other ore interval has been delineated on the base of the adit P-1 and the outcrop in the form of lenslike ore body which is thick more than 4 m, with the average content of copper of 1,2%, and up to now discovered extension is about 50 m.

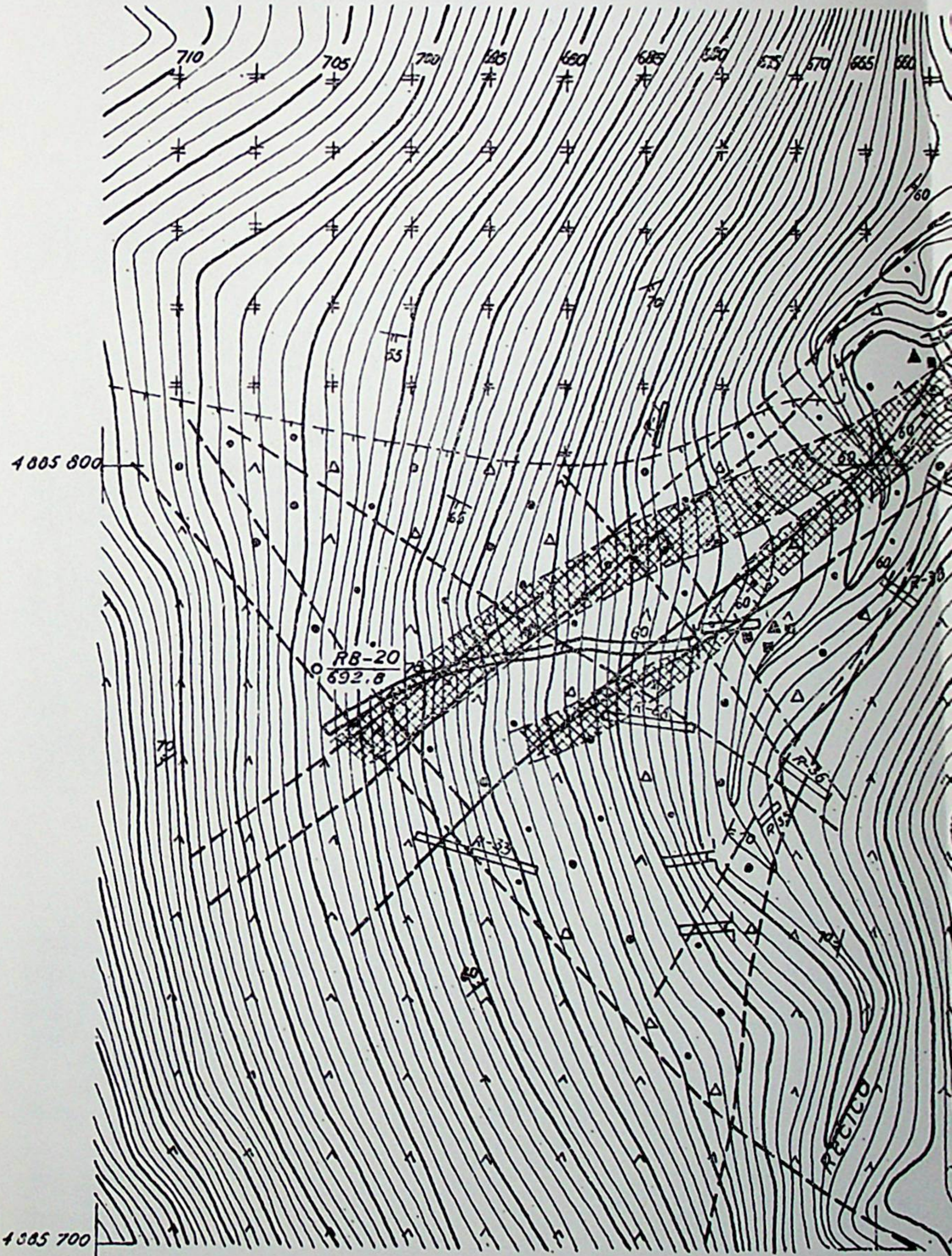
According to till now grade of knowledge, and on the base of very outstanding structural contral, intensive brecciation in the ore zone, of the mineral composition and metasomatic replacement of petrogenic minerals the conclusion has been brought that the copper ore at this locality is of hydrothermal origin.

---

[1] Institute for geological and mining investigation and exploration of nuclear and other raw materials, Beograd.

GEOLOŠKA KARTA LOKALNOSTI TA
GEOLOGICAL MAP OF TAORSKA

0 10 20 30 40 50



12

S

st

in
po
th
10

qu
pr
se
oc
zo
re
pe
0,0
to
of
fin
wo
ne
int
in
av
is

ou
the
ne
is

Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina. Sveska 9, 1974. godine

DUŠAN KLEUT
DRAGOSLAV NAUMOVIĆ

UDK: 553.43 (497.11)

POJAVE RUDE BAKRA NA SUVOJ PLANINI

(sa 4 slike)

Ovim radom obuhvaćeni su: pregled geologije ispitivanog područja, petrografski sastav permskih crvenih peščara, pojave ruda bakra u crvenim permskim peščarima i u sedimentima trijasa, i izvršen je pokušaj procene ekonomske vrednosti pojava bakra na širem području terena Suve planine.

Cilj višegodišnjih geoloških istraživanja na terenima istočne Srbije, a u vezi sa crvenim permskim peščarima, bio je usmeren na prospekciju nuklearnih sirovina. Zato je ova oblast istraživanja u radu izostavljena, a mineralizacije bakra, o kojima će biti reči, nemaju bitne genetske povezanosti sa mineralizacijama urana.

Ovaj rad ima nameru da da tumačenje geneze mineralizacija ruda bakra na terenima Suve planine iz dva razloga: prvo, dosadašnji autori su jako obazrivi u davanju takvih tumačenja, jer su i njihova istraživanja mineralizacija bakra bila delimična i drugo, zato što smatramo da su jasno postavljena genetska tumačenja preduslov za procenu perspektivnosti ovih pojava.

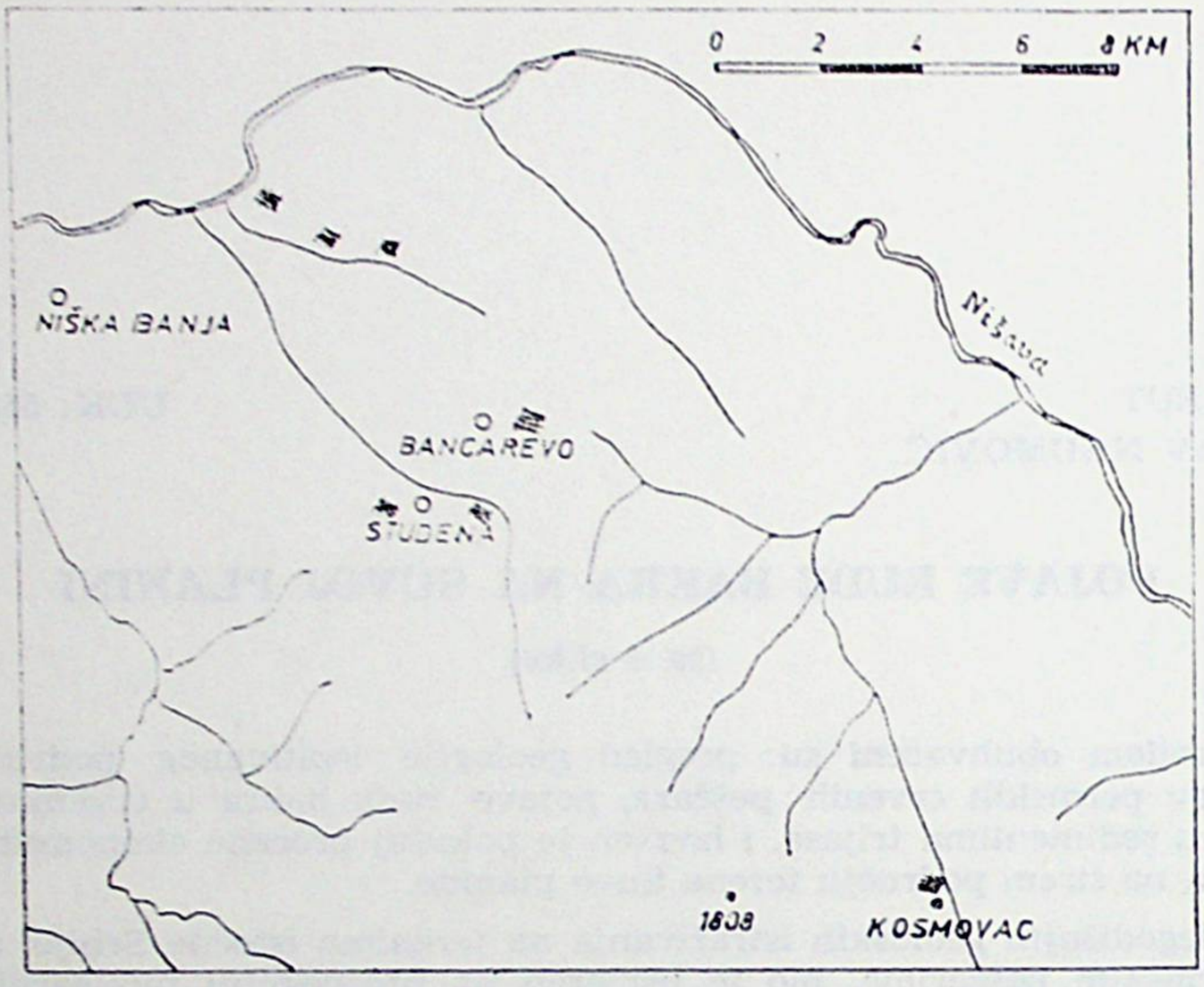
UVOD

U toku 1971. godine na terenu Suve planine boravila je ekipa Geoinstituta. Geološki podaci prikupljani su na samom terenu već prema specijalnostima saradnika, a i proveravani su na taj način što su na teren bili pozvani eksperti kao: Dr M. Protić i Dr M. Ristić za sedimentnu petrologiju, geologiju i metalogeniju.

Dragocene podatke dala je i kabinetska obrada sakupljenog geološkog materijala.

Permski sedimenti istočne Srbije, u celini, obuhvataju prostor od oko 800 km² i nalaze se u istočnom i zapadnom pojasu Karpatsko-Balkanske geosinklinalne zone. Tereni sa crvenim permskim peščarima koji pripadaju zapadnom pojasu (ili takozvanom unutrašnjem pojasu) prostiru se od Ranovca na severu do Ruj planine na jugu — listovi: Niška Banja, Tamnjanica, Gadžn Han, Veta i Bela Palanka R=1 : 25 000.

Deo terena na kojem je izvršena i geohemijska prospekcija, 1971. godine, iznosi oko 100 km² i obuhvata sliv Kunovičke, Studene i Crvene reke. Na istom terenu se nalazi i najveći broj kako ranije poznatih tako i tada otkrivenih mineralizacija bakra u crvenim peščarima.



Pregledna geografska karta Suve planine
Generalized map of Suva Planina, Serbia

GEOLOŠKI DEO

Podinu permskih sedimenata čine sedimenti starijeg paleozoika, škriljci i sedimenti gornjeg karbona (Ranovac, Kladurovo, Suva planina). Permski sedimenti se završavaju, u okolini Krepoljina, sa kvarcnim peščarima i konglomeratima, koji po nekim autorima pripadaju permskim sedimentima, dok ih drugi stavljaju u donji trijas. Dalje, iznad ovih peščara su krečnjaci mezozoika i tercijar.

Međutim, ovakvi odnosi su kasnije izmenjeni na severnom delu terena, u zoni Ridanj — Krepoljin i u oblasti Senjskog rudnika. Tamo su sedimenti perma navučeni preko mezozoika pa i tercijarnih sedimenata. U pitanju je nekoliko navlaka nastalih usled potisaka sa zapada, u toku alpiske orogeneze. Inače i cela oblast, a ne samo oblast navlačenja, odlikuje se tektonskom građom koja je vrlo složena.

Prema B. Sikošeku svi paleozojski i mezozojski sedimenti, koji su se za vreme procesa stvaranja getske navlake, nalazili između nje i autohtonog terena, obuhvaćeni su u geotektonskoj jedinici infragetikuma. U infragetikum, dakle, spada i cela zona Ridanj — Krepoljin sa permskim crvenim peščanima kao jednim od članova, a koji su navučeni preko miocena Senjsko — Resavskog basena i donje krede Kučaja.

Smatra se da je početak ovih pokreta bio u vreme gornje krede a najveći intenzitet u laramijskoj fazi. Tada je i došlo do stvaranja glavne mase andezita, naročito južno od Krepoljina.

Stvaranje permskih sedimenata vezano je za završnu fazu jednog ranije započetog ciklusa. Taj ciklus je počeo još u vreme transgresivnog ordovicijuma a završio se u sajskom podkatu trijasa. Zato sedimenti starijeg perma odgovaraju marinskim facijama, dok se u mlađem paleozoiku prilike menjaju i iz građe mlađih facija oseća se kontinentalni uticaj. Promena je nastala zbog širih tektonskih uticaja pa su zbog toga permski sedimenti zadobili karakter i postorogenih sedimenata.

Debljina permskih sedimenata je od nekoliko desetina metara (Senjski rudnik) do oko 1000 metara (Suva planina). Nije isključena mogućnost da je zbog kraljuštanja negde došlo i do ponavljanja istih serija u vertikalnim profilima.

Permski sedimenti su pretežno mrkocrvene boje, zatim sivocrvene i rumenkaste a sasvim retko bledo-sivobeličaste. Predstavljeni su od psefitskih preko psamitskih do pelitskih tvorevina. Konglomerati su osetno manje zastupljeni u odnosu na ostale litotipove i, gotovo redovno, zauzimaju najniže delove serije. Oni pak, u kojima su u većoj meri zastupljeni fragmenti alevrolita mogu se smatrati kao infraformacijske tvorevine.

Mineralni sastav peščara je pretežno arkozne prirode. Udeo feldspata u odnosu na kvarc i odlomke stena obično ne prelazi 20%. Feldspati su predstavljeni K-feldspatom i kiselim plagioklasima. Kao glavni sastojci javljaju se liskuni, često oksidisani, fragmenti kvarcita, rožnaca, sericitskih i hloritskih škriljaca i retko kvarcporfira.

Akcesorni sastojci su: apatit, turmalin, epidot, cirkon, rutil, hematit, staurolit, pirit, kalcit, granat, sericit i drugi.

Cement je pornog i kontaktnog tipa a izgrađuje ga hematitsko-limonitska i glinovita materija i manje karbonatna.

Terenska i laboratorijska izučavanja ukazuju da je materijal od kojeg su izgrađeni crveni permski peščari uglavnom granitskog porekla. Znatno manje je zastupljen materijal poreklom iz škriljaca, rožnaca i kiselih vulkanskih stena. Interesantno je da se u crvenim permskim peščarima mogu naći i fragmenti permskih gvožđevitih peščara, alevrolita i glinaca. Ova pojava je poznata kao dvostepena sedimentacija a nastala je radom turbulentnih voda koje su razarale starije permske sedimente i taložile ih zajedno sa mlađim članovima permske serije.

Odsustvo fosila u permskim sedimentima u mnogome otežava proučavanje uslova pod kojima su stvarani. No, slaba zaobljenost mineralnih sastojaka kao i pretežno slaba sortiranost materijala karakteriše plitkovodne priobalske tvorevine. Slaba sortiranost materijala ukazuje i na taloženje u nemirnoj vodenoj sredini, u priobalskim delovima basena.

Cement se, pretežno, sastoji od gvožđevito-glinovite materije (montmorionit-ilit) čiji je postanak vezan za toplu, suvu i polusuvu klimu. Ovakav cement kao i karbonatne konkrecije ukazuju na slabo alkalnu do alkalnu sredinu.

POJAVE RUDE BAKRA NA TERENIMA SUVE PLNANINE

Pored većeg broja rudnih pojava, poznatih od ranije, radeći litofacijalno rekognosciranje, pronađeno je više novih mineralizacija bakra u ovim sedimentima.

Mada postoje oskudni literaturni podaci o ovim nalazištima, uočljivo je na samom terenu, da su na nekim od pojava, izvođeni istražni a možda i eksploatacioni radovi pre i posle II svetskog rata, kao i za vreme samog rata od strane Nemaca.

Interesantno je da se pojave mineralizacija bakra javljaju uglavnom u gornjim delovima serije crvenih permskih peščara. Većina ovih pojava nalazi se ili neposredno ispod alevrolita ili delom i u samim alevrolitima. Serija crvenih permskih peščara moćna je mestimično, na ovom terenu, oko 1000 metara. Tamo gde su, usled erozije, vidljivi vertikalni profili ove serije peščara, nisu u nižim njenim delovima nađene mineralizacije bakra.

Prisustvo mineralizacija bakra u peščarima uočava se relativno lako na samom terenu iz više karakterističnih razloga. U prvom redu, delovi crvenih permskih peščara sa pojavom rude bakra su znatno izbeljeni i drugo, glavni nosioci rude bakra su sada sekundarni minerali bakra — malahit i azurit — koji su po boji lako uočljivi.

Međutim, na samim pojavama ove rude na terenu vrlo je teško odrediti glavne pravce izvršene mineralizacije. U tom cilju pomažu pojave žilica barita i silifikacija samih peščara a koje su u vezi sa procesom izvršene mineralizacije u crvenim permskim peščarima. Ako pak izostaju pomenute žilice, što je čest slučaj, onda određivanje rasporeda rudnih minerala u peščaru nije jednostavno iz mnogih razloga. Vidljiva nagomilavanja minerala rude bakra mogu biti izvršena u vidu izvesnih sočivastih ili loptastih nagomilanja bez izraženog generalnog pravca mineralizacije. Česti su slučajevi da se skrame malahita i azurita nalaze po pukotinama u peščaru ali se ovi pravci, ipak, ne mogu pouzdano smatrati i pravcima izvršene mineralizacije u prvom redu iz razloga što su u pitanju sekundarni minerali koji su se duž ovih površina mogli smestiti i naknadno. Zapažene su ovakve orudnjene površine, sa malahitom i azuritom, a da se međusobno sučeljavaju pod uglom od 90° pa i većim.

Ipak, posmatranjem većeg broja ovih pojava mineralizacija bakra u istoj geološkoj sredini, kao i sumiranjem podataka o najčešćim pravcima rasporeda rudnih minerala u steni, moglo bi se uzeti da su opšti ili generalni pravci izvršene mineralizacije sever—jug ili SSZ — JJI.

MINERALNI I HEMIJSKI SASTAV RUDNIH POJAVA

Od minerala bakra najčešći su malahit i azurit, dakle minerali descedentnog porekla, ima malo halkozina, halkopirita, bornita, enargita sa tragovima luzonita, kovelina, tragovi tetraedrita i, pirita koji ovoj paragenezi genetski pripada.

Među glavnim mineralima ruda bakra uočavaju se izvesne razlike u načinu pojavljivanja tako da su malahit i azurit najčešći kao prevlake na površinama raznih prslina i pukotina u peščaru a halkozin se dosta često

zapaža u izvesnim sočivastim i gnezdastim nagomilanjima u steni. Zapaženo je i pojavljivanje halkozina u vidu žilica.

Sistematskim rudno-mikroskopskim ispitivanjem ovih parageneza nađeno je da je mineralizacija peščara izvršena tako, da rudni minerali bakra najčešće impregnišu cementnu masu peščara a ređe se javljaju u vidu rudnih žilica, što je karakteristično za pojavljivanje jednog dela halkozina.

Hemijskom analizom orudnjenih crvenih permskih peščara potvrđeni su rudno-mikroskopski nalazi. Neujednačenost intenziteta orudnjenja peščara i na malim rastojanjima je uočljiva. Tako su dobijeni sadržaji bakra u nekim uzorcima ispod 1% a na drugim i preko 10% što zavisi da li je uzorak sa gnjezdima i drugim oblicima nagomilanja minerala rude bakra ili ne. Interesantno je da je granica između orudnjenih delova peščara i neorudnjenih vrlo oštra. Sadržaj bakra u crvenim permskim peščarima izvan jasno vidljive mineralizacije je vrlo nizak, što se vidi iz hemijskih analiza (tabela 1).

Tabela 1

Hemijske analize uzoraka na sadržaj Cu, Ag i Au

Oznaka uzorka	Cu %	Ag ppm	Au ppm
B-61870	2,46	6	0,2
61885/I	1,85	0	0
61885/II	0,26	30	0,2
61886	0,03	0	0
618889	0,06	0	0
61887	1,52	0	0
61899/I	2,63	110	0,3
61899/II	0,92	0	0
61900	1,56	0	0
61902	0,81	0	0
61879/I	2,32	44	0,3
61879/II	16,22	940	—
61880/I	1,33	7	0
61880/II	0,80	0	0

Oštre granice između orudnjenih i neorudnjenih delova crvenih permskih peščara potvrdila je geohemijska prospekcija. Velike razlike u sadržaju bakra u vodama, muljevima i uzorcima čvrstog tla koje se zapažaju na mineralnim pojavama i izvan vidljivih zona mineralizacije dolaze iz više razloga. Jedan od bitnih razloga je da se u mineralizovanim zonama nalaze malahit i azurit, (karbonati bakra), a u tragovima sulfidi bakra. Rastvorljivost sulfidnih minerala bakra je više hiljada puta veća od rastvorljivosti minerala karbonata bakra. Budući da su mineralizovane zone peščara predstavljene uglavnom karbonatima bakra a gde su hemijske analize uzoraka pokazale sadržaj bakra oko 10%, nedaleko od ovih zona analize su bile negativne ili sa malim sadržajem bakra. Iz toga su geohemičari izveli tačan zaključak, još pre nego što su bile urađene rudno-mikroskopske analize sakupljenih uzoraka, da su sulfidni minerali bakra u mineralizovanim delovima peščara i uopšte u peščarima slabo zastupljeni.

Za pravilno tumačenje porekla bakra i, prema tome, geneze ovih nalazišta može se uzeti i podatak o sadržaju srebra (tabela 1) u orudnjenim i u neorudnjenim delovima crvenih permskih peščara. Iz pregleda ovih analiza vidi se da je znatno povećan sadržaj srebra u mineralizovanim delovima peščara u odnosu na delove ovih sedimenata koji nisu bili zahvaćeni mineralizacijom. I taj podatak ukazuje na epigenetsko tj. hidrotermalno unošenje bakra u ove sedimente.

Iz priloženih analiza materijala, koji nije reprezentativan, jasno se vidi da sadržaj srebra raste sa porastom sadržaja bakra i obrnuto.

NEKE OD ZNAČAJNIJIH POJAVA RUDE BAKRA U PEŠČARIMA SUVE PLANINE

Pojava kod sela Gornja Studena

U potoku iznad škole u s. G. Studena nalazi se pojava mineralizacije bakra u peščaru. Tu je postojao i potkop. Pošto nema literaturnih podataka o ovim radovima niti se tačno zna ko ih je izvodio tako su nam nepoznati i rezultati ovih radova. Prema kazivanju meštana ovde je i eksploatisan bakar pre rata. Potkop, koji je sada potpuno zarušen, bio je postavljen po pravcu izvršene mineralizacije. Očuvana je dosta velika halda mada je glavni deo izbačenog materijala iz potkopa odnela reka. Na ovoj pojavi mineralizacija je teško uočljiva zbog toga što je reljef oštro izražen pa je ispiranje na površini terena bilo jako. Retki su odlomci stena na kojima se makroskopski zapaža nešto malahita i azurita. Zbog toga je teško odrediti širinu mineralizovane zone. Prema našoj oceni ova bi zona bila široka oko 30 — 50 metara, a po pružanju se ne može pratiti jer ista zaleže u strmu desnu obalu potoka. Sakupljeni uzorci na kojima se moglo zapaziti izvesno prisustvo minerala rude bakra hemijski su analizirani a sadržaj bakra je oko 1% i veći. U pravilno uzetoj srednjoj probi ovaj sadržaj bi bio svakako manji.

Laboratorijskim pregledom sakupljenog materijala sa ove pojave utvrđeno je da mineralni sastav, paragenetski odnosi minerala i način pojavljivanja minerala rude bakra u peščaru odgovara već opisanim za teren Suve planine.

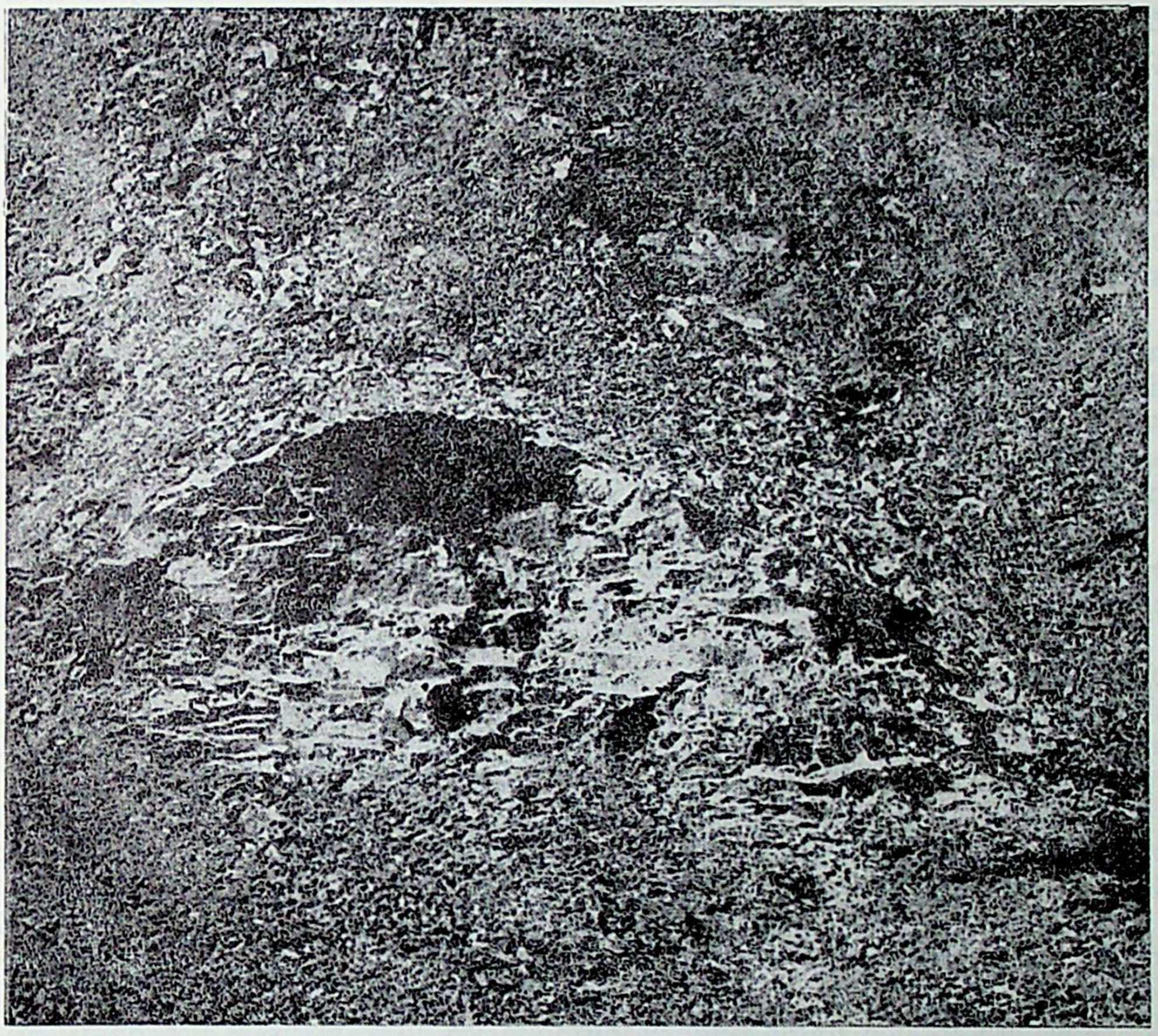
Pojava rude bakra kod sela Donja Studena

Iznad sela D. Studena tj. južno od sela, pored samog puta, nalazi se pojava rude bakra u crvenom permskom peščaru. Ovde je nešto bolje očuvan ulaz u stari potkop (slika 1).

Potkop je lociran na mestu gde je najuočljivije prisustvo minerala rude bakra ali je postavljen upravno na pravac izvršene mineralizacije. Zbog toga je potkop ubrzo izašao iz mineralizovane zone, a prema kazivanju meštana bio je dugačak oko 50 — 60 metara. Udaljavajući se od potkopa mineralizacija je sve slabije uočljiva a može se pratiti na oko 50 — 80 metara. Širina mineralizovane zone je oko 30 — 40 metara.

Mineralni sastav i paragenetski odnosi rudnih minerala na ovoj pojavi su potpuno isti kao već opisani za oblast Suve planine.

Hemijske analize uzoraka koji su proizvoljno uzeti iz jače orudnjenih delova peščara dale su sadržaj bakra najčešće oko 1% pa i veći.



Sl. 1. Ulaz u potkop izgrađen u crvenom permskom peščaru sa pojavom rude bakra, kod sela Donja Studena.

Foto Inž. D. Kleut

Fig. 1. Entrance of an adit in Permian red sandstone, with copper mineral occurrence, near the Donja Studena village.

Pojave rude bakra kod mesta zvanog Izvor, kod s. D. Studena

U gornjem delu potoka kod mesta zvanog Izvor, nalazi se pojava rude bakra u crvenom permskom peščaru i u trijaskom krečnjaku koji se nalazi preko peščara. Hiatus između perma i trijasa manifestuje se u diskordantnom položaju ovih krečnjaka u odnosu na permske peščare ali je mineralizacija bakra zahvatila i peščare i krečnjake što ukazuje da je ona posttrijaske starosti.

Na mestu gde je nekada bio kamenolom u krečnjaku pa do samog potoka gde se nalaze permski sedimenti proteže se zona koja je minera-

lizovana. Dužina ove zone je oko 150 a širina oko 30 — 40 metara. Mada se radi o potpuno istom tipu mineralizacije kao i na drugim pojavama na Suvoj planini, ova pojava je specifična po tome što se mineralizacija produžava iz crvenih permskih peščara u trijaske krečnjake.

Mineralni sastav, paragenetski odnosi i geneza, kao i hemijski utvrđeni sadržaj bakra u sakupljenom nereprezentativnom materijalu je potpuno isti kao i na drugim pojavama na ovom terenu.

Međutim, pojava kod Izvora zaslužuje posebnu pažnju iz razloga što je na ovom mestu očuvan trijas, tj. što izvršena mineralizacija prelazi direktno iz crvenih permskih peščara u trijaske krečnjake. Baš na kontaktu permskih peščara i trijaskih krečnjaka odigrao se je hemijski proces koji je uslovio deponovanje korisne supstance iz hidrotermalnih rastvora.

Kao što će biti još govora u narednom tekstu, zapaženo je da su mineralizacije bakra vezane za gornje nivoe crvenih permskih peščara. Sve do detaljnijeg pregleda pojave kod mesta zvanog Izvor razlog za pojavu minerala bakra u gornjim nivoima crvenih permskih peščara mogao se samo pretpostavljati. Ova lokalnost je za sada jedino mesto na Suvoj planini gde je uzrok deponovanja rude bakra očigledan.

Naime, hidrotermalni rastvori su na ovoj lokalnosti prolazili kroz crvene permske peščare, duž tektonskih elemenata, ostavljajući za sobom slabe tragove rude, žilice pratećih minerala kao što su kvarcne, baritske i sl. i izbeljujući najužu zonu crvenih peščara na taj način što su sulfidi bakra delovali redukujuće na crvene okside gvožđa u peščaru. Tek nailaskom hidrotermalnih rastvora na trijaske krečnjake, kao vrlo reaktivnu hemijsku sredinu, došlo je do narušavanja ravnoteže u hidrotermalnim rastvorima i do odlaganja rude bakra na licu mesta.

Od ostalih pojava ove rude, na terenu Suve planine, treba pomenuti pojavu kod sela Kosmovca. Ova pojava je otkrivena na površini od oko 30 × 40 metara.

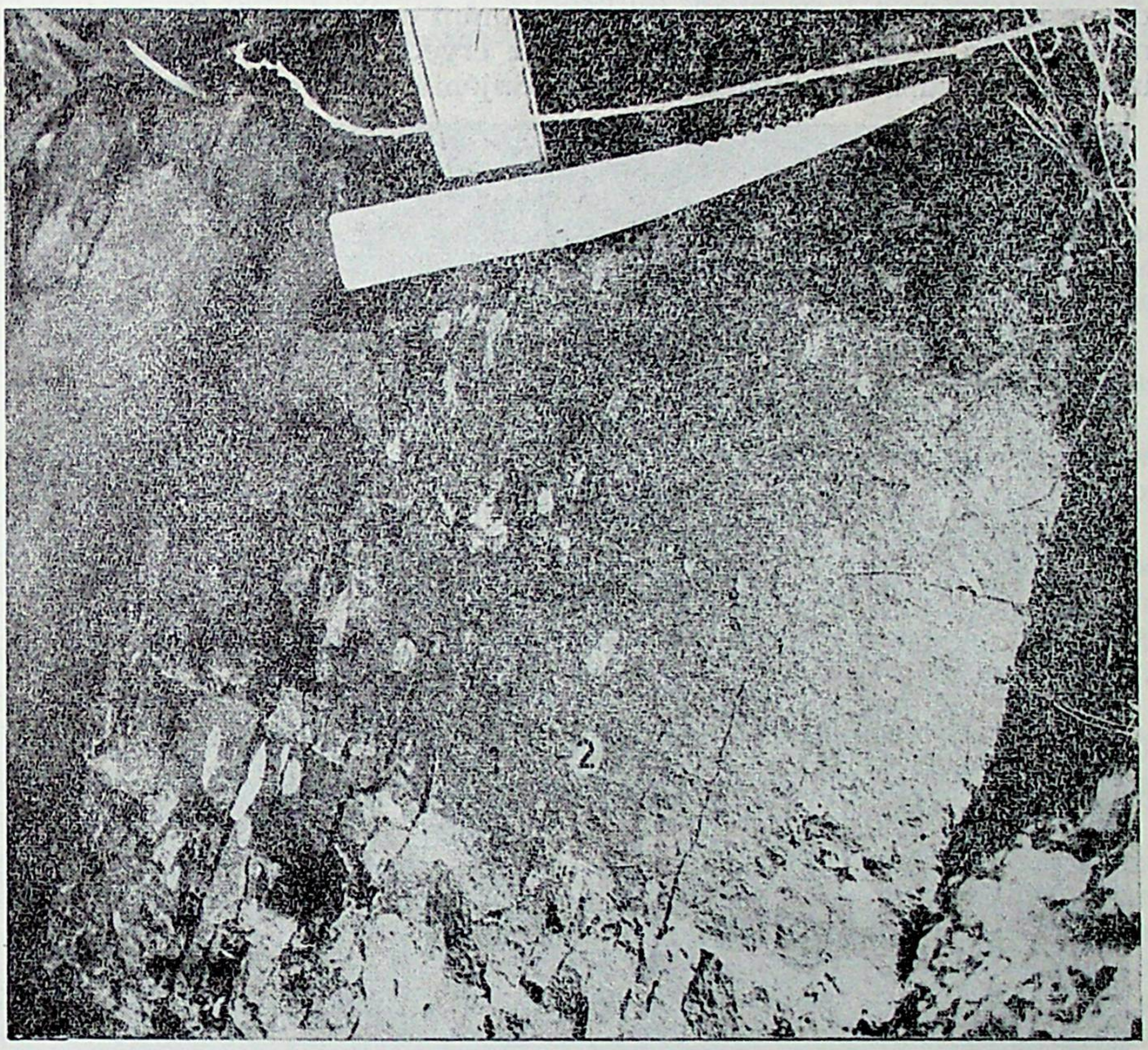
Interesantne su i pojave na desnoj obali Kunovičke reke koje su manje otkrivene ali je konstatovan veći broj ovih mineralizacija u peščarima.

Kao što je već naglašeno, zajednička im je karakteristika da je mineralizacija izvršena u približno istom pravcu, da im je mineralni i hemijski sastav vrlo blizak i da se javljaju u istoj geološkoj sredini.

GENEZA RUDNIH POJAVA BAKRA U PEŠČARIMA SUVE PLANINE

U celini posmatrano orudnjeni delovi crvenih permskih peščara imaju sočivast oblik pojavljivanja. Mineralizacije bakra u peščarima praćene su često žilicama barita i kvarca a zapažaju se i zone u peščarima koje su silifikovane. Delovi peščara koji su mineralizovani pretrpeli su izvesna lomljenja što ukazuje da je mineralizaciji prethodila tektonska aktivnost. Duž prslina i pukotina, stvorenim tom prilikom, cirkulisali su hidrotermalni rastvori. Laboratorijskom analizom kvarca na temperaturu stvaranja, dekripitacionom metodom, dobijene su vrednosti od 180°C što bi odgovaralo nižim temperaturama hidrotermalnih rastvora. Činjenica da se mineralizacija bakra manifestuje pretežno u vidu impregnacija ce-

mentne mase u peščarima kao i stvaranjem manjih žilica sa halkozinom ukazuje da je do orudnjenja došlo posle potpunog formiranja ovih sedimenata, tj. epigenetskim unošenjem bakra u crvene permske peščare. Rudne žilice su skoro vertikalne u odnosu na površine slojevitosti peščara.



Slika 2

1. — Crveni permski peščar. 2. — Sivobele površine jajastog oblika su delovi istog peščara ali izbeljeni.

Foto Inž. D. Kleut

Fig. 2

1. — Unaltered red Permian sandstone, 2. — The gray, egg-shaped areas are bleached portions of the same sandstone.

Svi ovi podaci ukazuju da je do mineralizacije došlo hidrotermalnom aktivnošću duž pukotina u peščaru. Odnosi uočeni kod mesta Izvora (s. D. Studena) da se mineralizacija bakra produžava iz crvenih permskih peščara u trijaske krečnjake ukazuje da je ona posttrijaske starosti.

Pukotinama i prslinama u peščarima su cirkulisali hidrotermalni rastvori donoseći bakar i formirajući određenu mineralnu paragenezu. Pirit, koji je pomenut kao sastavni deo ove parageneze, uvek je izrazito naj-

stariji sastojak u njoj. Budući da se radi o jako izraženoj oksidacionoj sredini nastali su descedentni procesi koji su doveli do stvaranja sekundarnih minerala bakra kao glavnih nosioca metala u orudnjenoj zoni. Isto tako procesi prelaska sulfida bakra u karbonate bakra (malahit, azurit) kao i uopšte procesi pretvaranja primarnih sulfida bakra u sekundarne minerale dovodi do hemizma u samim peščarima koji se jako manifestuje na terenu kao izbeljeni, ranije crveni, permski peščar. Ovakva izbeljivanja su konstatovana i u neorudnjenim delovima crvenih peščara



Slika 3

1. — Crveni permski peščar, 2. — Sivobeličasti delovi predstavljaju izbeljeni crveni permski peščar. U centralnim delovima sivobeličastih partija peščara nalaze se malahit i azurit.

Fig. 3

1. — Unaltered red Permian sandstone, 2. — Light-gray zones are bleached portions of the same sandstone; the malachite and azurite are located in the contral parts of these zones.

gde se, najverovatnije, bivše zrno nekog sulfida (pirit?) kao deo detritičnog materijala u peščaru kasnije pretvorilo u limonit. U takvim, neorudnjenim, delovima permskih peščara, nalaze se manja ili veća, nekad i veli-

čine jajeta, izbeljena okruglasta polja u čijem su centru ili ostaci bivšeg sulfida ili ostaci organske materije čijim je hemijskim uticajem došlo do izbeljivanja crvenog peščara.

Izbeljivanje peščara u vezi sa orudnjenjem tj. mineralizacijom bakra u peščarima, epigenetskog porekla, izdužena su, žičnog ili sočivastog oblika kao i sama mineralizacija. U središnjim delovima ovako izbeljenih crvenih peščara redovno se nalaze malahit i azurit kao ostaci bivše primarne mineralizacije.

ZAKLJUČAK

Na terenima Suve planine a u crvenim permskim peščarima i u trijaskom krečnjaku, nalazi se veći broj pojava mineralizacija bakra. Zavisno od otkrivenosti tih pojava može se suditi o njihovoj veličini, pošto nisu izvođeni istražni radovi.

Konstatovano je ukupno oko 20 pojava mineralizacije bakra u peščarima Suve planine. Većina ovih pojava ima visok sadržaj Cu.

Po mineralnom sastavu koji je prilično jednostavan, i predstavljen mineralima karakterističnim za oksidacionu zonu ležišta bakra, ove pojave su uglavnom istog mineralnog sastava.

Mineralizacija je posttrijaske starosti a izvršena je epigenetskim unošenjem bakra putem hidrotermalnih rastvora koji su u vezi sa mlađom magmatskom aktivnošću. Nije isključeno da su ove mineralne pojave vezane za magmatsku aktivnost koja je uslovila i stvaranje minerala bakra u Boru i Majdanpeku.

Mineralizacije bakra nalaze se u gornjim delovima crvenih permskih peščara kada su konstatovane u peščarima, odnosno prelaze u trijaske krečnjake kao kod mesta Izvora.

Sami permski crveni peščari su, kao hemijska sredina, nepovoljni za značajnija deponovanja korisne rudne supstance u njima. U to su se uverili naši rudari, a i Nemci za vreme II svetskog rata, pa su ubrzo odustajali od daljih radova u peščarima. Osim toga noviji način eksploatacije ležišta bakra zahteva primenu tehnike za industrijsko vađenje rude, što se u ovim peščarima ne bi moglo primenjivati — uske mineralizovane zone i sočivasta isklinjavanja.

Međutim, vrlo velik broj malih pojava bakra sa visokim sadržajem metala ukazuje da bi trebalo utvrditi gde je mogla biti povoljna geološka sredina za masovno deponovanje rude, ako ona već nije u samim peščarima.

Isto tako bilo bi od značaja tačno utvrditi izvore hidrotermalnih rastvora, odnosno prirodu magme, čiji su hidrotermalni rastvori predmet našeg interesovanja a u vezi sa pojavama bakra u njima.

Generalni pravac izvršenih mineralizacija na Suvoj planini je potpuno isti na širokom području što znači da nije reč o slabim hidrotermalnih rastvorima što je za dalja istraživanja vrlo povoljna činjenica.

(Predato za štampu februara 1974. godine).

LITERATURA

1. Maslarević Lj., 1963: Sedimentološke karakteristike permotrijasa na listovima Žagubica 51 i 53; Fond Zavoda za geološka i geofizička istraživanja, Beograd.
2. Naumović D., 1962: Izveštaj o litološkom istraživanju unutrašnjeg pojasa permskih crvenih peščara SI Srbije u 1962. god. Fond Geoinstituta, Beograd.
3. Naumović D., 1963: Izveštaj o litološkom istraživanju unutrašnjeg pojasa permskih crvenih peščara istočne Srbije (Sisevac — Ruj planina), Ibid.
4. Naumović D., 1965: Proučavanje prekenozojskih sedimenata istočne Srbije, Fond Geoinstituta, Beograd.
5. Naumović D., 1971: Prospekcija urana u permskim sedimentima istočne Srbije, Fond Geoinstituta 1971. god. Beograd.
6. Pavlović S., 1949: Mineraloški sastav bakarnih ruda crvenih peščara u istočnoj Srbiji, Zbor SGD — zapisnici.
7. Protić M., 1949: Izveštaj o radioaktivnim primercima bakarne rude iz okoline Sisevca, Ibid.
8. Protić M., 1949: Izveštaj o terenskom ispitivanju radioaktivnih pojava bakarnih rudnih pojava (u okolini Sisevca), Fond Geoinstituta, Beograd.
9. Pokrajac S., 1952: Izveštaj o hidrogeohemijskoj prospekciji urana u unutrašnjem pojasu crvenih peščara, SI Srbije u 1960. godini, Fond Geoinstituta.
10. Pokrajac S. i Protić M., 1964: Izveštaj o hidrogeohemijskoj i avio prospekciji urana u centralnoj i JI Srbiji, Ibid.
11. Protić M., 1967: Proučavanje prekenozojskih terigenih sedimenata Jugoslavije, Ibid.
12. Ristić M. i Protić M., 1949: O montan-geološkom ispitivanju radioaktivnih pojava u oblasti Stare planine u istočnoj Srbiji, Ibid.
13. Ristić M., 1963: Procena perspektivnosti Stare planine, Ibid.
14. Ristić M., 1965: Genetsko-strukturni tipovi uranske mineralizacije Jugoslavije (doktorska disertacija), Beograd.
15. Sikošek B., 1957: Neka geološka zapažanja u istočnom delu istočne Srbije, Zb. rad. Geol. inst. »Jovan Žujović« Knj. VIII, Bgd.
16. Vunjak N., 1951: Izveštaj o radu na terenu u okolini Sisevca, Ibid.
17. Veselinović Čučulić M., 1952: Rezultati proučavanja tercijarnih terena između Paraćina i Ražnja (istočna srbija) Zbornik radova SAN, knj. XXIII, Beograd.
18. Višić S., 1958: Izveštaj o istraživanju urana u sedimentima Zaplanjske oblasti, Fond Geoinstituta.
19. Višić S., 1969: Uranonosnost sedimenata Zaplanja sa osvrtom na stepen istraženosti perma istočne Srbije, Radovi Geoinstituta br. IV, Beograd.

Summary

DUŠAN KLEUT[1]
DRAGOSLAV NAUMOVIĆ[1]

COPPER MINERAL OCCURRENCES IN SUVA PLANINA, SERBIA

Several copper mineral occurrences have been observed in the Permian red sandstones and Triassic limestone of Suva Planina area. The individual occurrences can be estimated by their outcrops only, due to the fact that no mining explorations or exploratory drilling have been conducted so far.

About 20 such mineral occurrences have been registered in the sandstones. The copper concentrations are generally high; the mineral

[1] Institute for geological and mining investigation and exploration of nuclear and other raw materials, Beograd.

composition is relatively simple, and consists of minerals characteristic for the oxidation zone.

The mineral occurrences are of post-Triassic age, and the mineralization has been introduced epigenetically by hydrothermal solutions related to younger magmatic activity. It is also probable that this mineralization may be related to the magmatic activity which is genetically responsible for the Bor and Majdanpek mineral deposits.

The copper mineral occurrences are located in the upper parts of Permian sandstones, and, in some places such as at Izvor, can be found in the overying Triassic limestones as well.

The Permian sandstones are not the geochemically favourable environment for deposition of economically important copper deposits, and the mining explorations conducted on such mineral occurrences in the past, have been abandoned. Furthermore, due to the narrow or lens-like shapes of mineralized bodies, they are not suitable for the present methods of mass exploitation.

However, the large number of high-grade minor copper occurrences can indicate the presence of favourable depositional environment, if such environment is not in the Permian sandstones.

It will be also important to determine exactly the source of hydrothermal solutions and the nature of parent magma responsible for these copper mineral occurrences. The general trend of all mineral occurrences in Suva Planina is the same over an extensive area, indicating relatively extensive hydrothermal activity, which represents a highly favourable factor in future explorations.

Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina. Sveska 9, 1974. godine

VLADAN SIMIĆ
SPASOJE KONJEVIĆ

UDK: 622.1:553.495 (497.1)

METODOLOGIJA PROSPEKCIJE I ISTRAŽIVANJA URANA U JUGOSLAVIJI

(sa 1 slikom)

Kao i u istoriji istraživanja drugih mineralnih sirovina tako i u istraživanju urana ima kolebanja u intenzitetu radova i ukupno uloženim naporima na otkrivanju ležišta. S obzirom da je period opadanja ukupne aktivnosti na istraživanju urana u svetu za nama, ili tačnije da je poslednjih godina došlo do naglog povećanja aktivnosti na ovom polju to smo želeli da kroz prikaz iskustava damo i mogući koncept planiranja i sistematskog istraživanja nuklearnih sirovina. Želimo da naglasimo da je izložena metodologija u stvari dugogodišnje iskustvo svih kadrova Geoinstituta, koje smo pokušali da sumiramo i izložimo u ovom radu sa ciljem upoznavanja šire stručne javnosti.

Istraživanje nuklearnih sirovina u Jugoslaviji obavlja se, sa manjim ili većim intenzitetom već preko 20 godina. U tom periodu usavršavana je tehnika i metodologija, obučavani i specijalizovani kadrovi i proširivano iskustvo. Metodologija izneta dalje u tekstu bazira se na 20-godišnjem iskustvu nekoliko desetina visokostručnih kadrova pri radu sa savremenom opremom u veoma raznovrsnim geološko-strukturnim odnosima. Najgrublje rečeno ta metodologija obuhvata tri glavne faze rada i to studije perspektivnosti na uran, prospekciju i istraživanje sa evaluacijom ležišta nuklearnih sirovina.

Osnovni elementi ove metodologije su postupnost i kompleksna primena različitih vidova prospekcije u svim fazama rada počev od regionalne do detaljne.

Stečeno iskustvo diktiralo je tokom poslednjih godina proširivanje korišćenja ovih i prikupljanja drugih podataka u cilju istraživanja ostalih mineralnih sirovina. Ovo se naročito odnosi na regionalna istraživanja u smislu regionalnih strukturnih rejoniranja, litoloških raščlanjavanja kao i u smislu indiciranja ostalih mineralnih sirovina.

U ovom radu biće prikazane faze rada kako se izvode u SFRJ počev od prethodne — metalogenetskih analiza i okonturivanja širokih prostora u kojima je moguće otkriti ležišta urana pa zaključno sa vrstama radova na istraživanju ležišta.

Pri izboru i izdvajanju površina koje mogu biti interesantne u pogledu otkrivanja ležišta urana analiziraju se svi postojeći geološki materijali. U slučaju nedostatka osnovnih i bitnih podataka za procenu perspektivnosti širih regiona, tj. za izdvajanje prostora za regionalna ispitivanja izvode se rekognosciranja. U ovoj fazi koriste se i podaci radiometrijske kontrole istražnih radova (bušotina, tunela) na druge mineralne sirovine kao i radiometrijski premer radova na trasama puteva, pruga, vodojaža i sl.

Pri izdvajanju perspektivnih površina za regionalnu prospekciju korišćeni su kao osnovni litološki, strukturni i geohemijski kriteriji.

Kao rezultat ove analize u perspektivne rejone Jugoslavije uvršćeni su tereni izgrađeni od klastičnih sedimenata perma i tercijara, kiselih intruzivnih i ekstrusivnih stena i paleozojski i prepaleozojski metamorfni kompleks.

Postupnost postupka pri istraživanju nuklearnih mineralnih sirovina sastoji se u jasnom razgraničavanju pojedinih faza rada: *regionalna prospekcija*, *poludetaljna* i *detaljna prospekcija*, *istraživanja* indiciranih ležišta i njihova *evaluacija*.

Svaka od ovih faza rada obuhvata odgovarajuće metode geoloških, geohemijskih i geofizičkih ispitivanja, čiji se izbori vrše na bazi prethodne svestrane studije svih raspoloživih podataka, koji su od značaja za usvajanje najefikasnijih metoda i najpogodnije metodologije pri istraživanju određenog regiona.

Regionalna prospekcija

S obzirom na odgovarajuće kriterijume, izdvojeni rejoni za regionalna ispitivanja kategorišu se po stepenu perspektivnosti i određuje prioritet u redosledu njihove prospekcije. Svaki od ovih regiona podvrgava se detaljnim razmatranjima karakteristika kao što su: morfologija, hidrografija, pokrivenost terena, pošumljenost itd. Na osnovu ovih odlika donose se zaključci o najcelishodnijoj metodologiji za prospekciju pojedinih rejona u procesu primene aerogeofizičkih i geohemijskih metoda. Pre nego što se pristupi ovim ispitivanjima izrađuju se, ukoliko ne postoje odgovarajuće geološke karte razmere 1 : 100.000 ili 1 : 50.000. Pri tome se, po pravilu koristi fotogeološko kartiranje. Ove geološke karte nadalje koriste za detaljan prikaz usvojenog programa, zatim pri izvođenju aerogeofizičkih i geohemijskih ispitivanja, i pri prezentiranju dobijenih rezultata.

Regionalna prospekcija se izvodi aerogeofizičkim i geohemijskim (hidrohemija i recentni talozi vodotokova) metodama. Najčešće se primenjuju obe metode. U izvesnim slučajevima u zavisnosti od geoloških i terenskih uslova primenjuje se bilo samo geohemijska regionalna prospekcija bilo samo aerogeofizička. Izrazita pokrivenost ili veoma izražen reljef često onemogućavaju izvođenje aerogeofizike.

Aerogeofizička ispitivanja obuhvataju primenu radiometrije i magnetizma ili samo radiometrije što zavisi od stepena poznavanja geološko-strukturnih karakteristika ispitivanih oblasti. Naime, ako su u pitanju tereni koji su slabo geološki izučeni, onda se koristi kombinovana primena aeromagnetskih i aeroradiometrijskih ispitivanja, a ukoliko se radi o područjima znatne geološke izučenosti onda se primenjuje samo aeroradio-

metrijska prospekcija. U Jugoslaviji je do sada kombinovanom primenom aeromagnetizma i aeroradiometrije prekrivena površina oko 40.000 km², a samo aeroradiometrijom oko 25.000 km².

Rezultati aeromagnetskih ispitivanja koriste se prvenstveno za dobijanje što reprezentativnije slike geološko-strukturnih odnosa koja upotpunjava interpretaciju aeroradiometrijskih podataka, naročito u rejonima koji se odlikuju velikim stepenom pokrivenosti terena.

U proteklom periodu aeroradiometrijska merenja pretežno su obavljana iz helikoptera, a znatno manje iz aviona. Ovo je posledica znatno izražene morfološke razuđenosti terena u Jugoslaviji koji su perspektivni u pogledu uranonosnosti a karakterišu se pretežno alpskim tipom reljefa. Stoga je oko 70% od ukupne površine prospektovanog terena ispitano korišćenjem helikoptera sa visinama letenja reda 50 m i prosečnim međumaršrutnim rastojanjima do 250 m. Ostale oblasti koje se odlikuju povoljnijim topografskim uslovima, ispitane su iz aviona sa maksimalnim visinama letenja oko 100 m i međumaršrutnim rastojanjima oko 250 m.

Maršrute letova helikoptera su približno saglasne krupnijim hidrografskim i orografskim pravcima dok u slučaju kada se koristi avion ispitivanja se izvode duž paralelnih profila. Pozicija rekonstrukcije letova na topografsko-geološkim kartama ili fotomozaicima ostvaruje se korišćenjem pogodnih markera na zemlji i pomenutim kartama, tj. vizuelno, ili upotrebom strip-kamere kada se prospekcija obavlja iz aviona.

U zavisnosti od stepena pokrivenosti terena razlikuju se dva postupka u pristupu provere rezultata aeroradiometrijskih ispitivanja. Ukoliko se radi o terenima sa znatnim brojem stenskih izdanaka i tankim humusnim pokrivačem, koji ne omogućava bujnost vegetacije, pre svega pošumljenosti, onda se metodologija aeroprospekcije zasniva na tzv. direktnom otkrivanju anomalija radioaktivnosti koje bi mogle indicirati ležišta urana. U tom slučaju vrši se direktna provera registrovanih »pikova« putem geološke ocene neposredne okoline i usko lokalizovanim detaljnim ispitivanjima praćenim raskopavanjima, plićim bušenjem i izradom manjih rudarskih radova. Ukoliko su pak u pitanju rejoni znatne pokrivenosti sa retkim izdancima geoloških formacija, tada se obično u dobijenom polju radioaktivnosti ne manifestuju nagli skokovi, »pikovi«, već se uranonosni lokaliteti indiciraju u vidu rasplinutih anomalija na većoj površini pa se, stoga, nakon izvedene aeroprospekcije, takve površine i njihova okolina podvrgavaju poludetaljnim ispitivanjima o kojima će se kasnije opširnije govoriti. Dugogodišnja praksa primene aeroradiometrijske prospekcije u Jugoslaviji je pokazala da se u sličnim terenima moraju primeniti oba gore opisana vida provere aeroradiometrijskih rezultata bez obzira da li se radi o magmatskim, sedimentnim ili metamorfnim geološkim formacijama. Potrebno je samo naglasiti da je metodologija direktne provere »pikova« češća praksa kada se ispitivanja iz vazduha vrše korišćenjem helikoptera a ređa pri korišćenju aviona.

Osnovna dokumentacija su geološko-radiometrijske karte u razmeri: 1 : 100.000 i 1 : 50.000 sa jasno označenim rudnim pojavama i prostorima moguće U mineralizacije.

Geohemijska ispitivanja u fazi regionalne prospekcije upotpunjuju predstavu o uranonosnosti jedne oblasti, dajući i informacije o pojavama uranske mineralizacije na delovima slabo erodovanih i pokrivenih terena

gde se na površini ne manifestuju značajniji izvori zračenja ili gde su ravnotežni odnosi pomereni osetno na stranu urana. Pri ovim ispitivanjima uzorkuju se i analiziraju vode, muljevi i stene. Vode i muljevi se analiziraju fluorimetrijski na U a stene radiometrijski na U, Th i K. Prosečna gustina uzoraka se kreće, za vode od 2—3 uz/km², za muljeve 1—2 uz/km² a za stene 1 uz/10 km². Istovremeno se meri pH i određuje hemijski karakter vode. Na uže izdvojenim regionima izvode se ispitivanja sadržaja Rn i Ra u vodama. Obrada podataka se vrši po litološkim članovima posebno vodeći računa o hidrogeološkim faktorima. Uzorci mulja se analiziraju bilo spektralno bilo kolorimetrijski i na sadržaj pratećih elemenata kao što su Pb, Zn, Cu, Mo i dr.

Osnovna dokumentacija su geološko-geohemijske karte sadržaja U i drugih elemenata kao i karta rejoniranja terena prema hemijskom karakteru vode. Osim toga jasno su naznačene sve rudne pojave i izvori sa povišenim sadržajem Rn i Ra.

Uporedna analiza i interpretacija svih podataka regionalnih ispitivanja kao i provere na zemlji otkrivenih anomalija omogućuje da se izdvoje uži rejoni ili direktno lokalnosti perspektivne u pogledu otkrivanja ležišta urana, tj. prostora i prospekata za poludetaljna i detaljna ispitivanja.

Poludetaljna prospekcija i detaljna prospekcija

Regionalnom fazom prospekcije dobijaju se bilo direktne indikacije rudnih izdanaka u slabo pokrivenom terenu, bilo anomalije radioaktivnosti, sadržaja urana, Ra, Rn u vodama, recentnim talozima vodotokova ili stenama. Dakle moguća su dva slučaja pristupa daljim ispitivanjima. Naime u slučaju direktnog indiciranja rudnih izdanaka ili mehaničkih oreola rasejavanja prelazi se neposredno na detaljna ispitivanja. U slučaju velike pokrivenosti i prisustva indikacija anomalnih sadržaja U, Rn, Ra i / ili radioaktivnih anomalija, posebno radijumskog tipa, potrebna je međufaza poludetaljnih ispitivanja.

Poludetaljnim ispitivanjima prekrivaju se područja čije su površine reda 10—100 km². U ovoj fazi prospekcije sistematska ispitivanja obuhvataju prvenstveno primenu radiometrijskih metoda i geološkog kartiranja u razmeri približno 1 : 25.000. Korišćena metodologija mora da obezbedi što objektivniju registraciju najbitnijih elemenata za prikaz polja radioaktivnosti geološko-strukturne građe terena kako bi se indicirali ne samo izdanci mineralizacija i orudnjenja već i skrivena ležišta nuklearnih sirovina. U tom cilju odgovarajuća opažanja se izvode koordiniranim radom tima obično od tri člana. Naime, osnovnu rudnu grupu sačinjavaju tri geologa — operatora koji istovremeno vrše radiometrijski premer i geološko kartiranje duž profila sa međusobnim rastojanjima oko 150—200 m. Pri tome terenski postupak ovakve radiometrijsko-geološke prospekcije obavezuje usaglašavanje registrovanih parametara u samom toku realizacije svakodnevnih zadataka. U toj fazi rada vrši se opažanje polja gama radioaktivnosti, prikupljaju podaci o geološko-strukturnim karakteristikama terena i obavezno registruju sve vrste mineralizacija, alteracija kao i podaci o pokrivenosti terena. Istovremeno se vrši i uzorkovanje stenske podloge po mreži koja je ravnomerno raspoređena iznad pojedinih geoloških

formacija sa ciljem donošenja zaključaka o njihovoj uranonosnosti. Na taj način dobijaju se geološko-radiometrijske karte sa podacima rasporeda izdanaka i debljine nanosa.

Na osnovu rezultata ovako izvršenih radiometrijsko-geoloških ispitivanja, određuju se dopunska ispitivanja u cilju upotpunjavanja objektivnosti prikaza kako geološko-strukturnih odnosa tako i uranonosnosti najperspektivnijih geoloških formacija. Vrsta i obim ovih dodatnih radova zavisi od stepena pokrivenosti izučavanog rejona, prvenstveno onih njegovih delova koji se izdvajaju kao najperspektivniji. Shodno tome, u daljem postupku određuju se profili duž kojih se primenjuju, pored radiometrijskih metoda sa dubljim zahvatom (gama i emanaciono sondiranje), još i neke od klasičnih geofizičkih metoda (geoelektrične, magnetne i dr.). Istovremeno se koriste i adekvatna geohemijska ispitivanja (primarni i sekundarni oreoli). Sve uočene strukture, zone alteracija i rudni izdanci posebno se ispituju (mineraloške, petrološke, hemijske i druge analize).

Osnovna dokumentacija su geološko-radiometrijske karte R 1 : 25.000 sa označenim površinama izdanaka i debljine pokrivača dok se ostali rezultati (gama sondiranje, emanacija, geohemija) prikazuju u obliku profila na samoj karti i na posebnim profilima. Ovo drugo se najčešće daje ako su vršena geoelektrična ispitivanja ili ispitivanja ΔZ u cilju razjašnjenja prostornih odnosa. Svi rudni izdanci se posebno ispituju i oprobuju. Rezultati ispitivanja rudnih izdanaka daju se na posebnim prilozima.

Kao rezultat ove faze rada dobijaju se uži manji prostori na kojima se izvode detaljna ispitivanja. Osnovni kriteriji su pri tome strukturni. litološki i sadržaj urana u već oprobavanim delovima.

Po pravilu to su već površine reda veličine 1—5% od poludetaljno ispitivanog prostora.

Bilo na osnovu interpretacije rezultata svih napred navedenih vrsta ispitivanja (najčešće) bilo na osnovu rezultata samo regionalnih ispitivanja (kad je direktno otkriven izdanak a geološko-strukturna situacija jasna) pristupa se narednoj fazi ispitivanja tj. *detaljnim ispitivanjima*. Ova se obično obavljaju na površinama reda veličine od 0,1—5 km^2. Razmera topografskih osnova na kojima se izvode detaljna ispitivanja je obično od 1 : 1000 do 1 : 5000.

U zavisnosti od konkretnih geoloških odlika pojedinih lokalnosti pristupa se izboru metodologije detaljnih ispitivanja. Prvi i osnovni elemenat je izrada strukturno-geološke karte u odgovarajućoj razmeri pri čemu se često koriste klasične geofizičke metode za razjašnjenje strukturnog sklopa.

U slučaju gde se izdanci geoloških formacija javljaju na većoj površini, često je dovoljna primena gama metode da bi se okonturila uranonosna zona i tako usmerili radovi na raskopavanju i istražnom bušenju. Pri tom se radiometrijska ispitivanja izvode po mreži profila međusobno udaljenih od 10 do 50 m.

Na drugim lokalnostima, međutim, gde je humusni pokrivač veći i prisutan na većem delu terena mora se koristiti neka od radiometrijskih metoda sondiranja (gama ili emanacija) kao i metalometrija. Dubina gama i emanacionog sondiranja je najviše do 3 m, pri čemu se obično meri na dva ili više nivoa, a po mreži 50 × 10 m.

U oba slučaja rezultati se prikazuju na geološko-strukturnoj karti. Rezultati detaljnih ispitivanja izvršenih na gore navedeni način, obezbeđuju dobijanje pouzdanih geološko-strukturnih i radiometrijsko-geohemijskih karata sa pozicijom i elemenata zaleganja mineralizovane zone.

Ovako indicirane mineralizovane zone proveravaju se raskopavanjem i manjim obimom bušenja, najčešće na jezgro, kako u cilju utvrđivanja kvaliteta po pružanju tako i po dubini. Pri tome se obavezno vrši geološko kartiranje, radiometrijska kontrola, uzorkovanje i oprobavanje raskopa i bušotina.

Na ovaj način ispitivani lokaliteti se najčešće mogu sa sigurnošću evaluirati i u zavisnosti od ocene odbaciti ili pristupiti obimnijim istražnim radovima u cilju utvrđivanja rudnih rezervi.

U slučaju da regionalna ispitivanja ukazuju na mogućnost otkrivanja ležišta urana u sedimentima basena izvode se poludetaljna radiometrijska i/ili geohemijska ispitivanja obodnih delova basena i okolnih stena posebno u pravcu mogućeg izvora urana. Istovremeno se izvode i ispitivanja konfiguracije paleoreljefa, dubine nivoa podzemne vode, sastava sedimentne serije, pravca toka podzemne vode i drugo a sve u cilju lociranja istražnih bušotina.

Na osnovu prvih bušenja može se dati ocena o vrednosti ovakvih pojava i izraditi program istraživanja i utvrđivanja rudnih rezervi.

ISTRAŽIVANJE I EVALUACIJA LEŽIŠTA URANA

U ovom poglavlju obuhvaćena su istraživanja ležišta urana bušenjem i rudarskim radovima kao i prateći geološko-geofizički radovi koji se obavljaju u procesu istraživanja.

Gustina i vrsta istražnih radova zavisi od tipa ležišta i propisana je uputstvom za proračun rezervi uranove rude te ovde o tome neće biti reči.

Pri istraživanju sedimentnih basena bušenjem, osnovna metoda ispitivanja uranonosnih formacija u bušotinama je radiometrijski gama karotaž. Karotaž se izvodi u cilju utvrđivanja debljine uranske mineralizacije i sadržaja urana u orudnjenom intervalu. U povoljnim uslovima vrši se i litološko raščlanjavanje serije. Posebna pažnja se poklanja pri istraživanju sedimentnih basena na sedimentološke studije a pri tome naročito se utvrđuje boja, veličina zrna, slojevitost, sortiranje, cement, čvrstina, rudni minerali, akcesorije, alteracije i dr.

Veoma efikasno i često je istraživanje orudnjenja po padu istražnim bušenjem iz jame, naročito pri strmim padovima orudnjenja. Ovo bušenje može biti kako sa jezgrom tako i perkusivno. U oba slučaja su bušenja praćena obavezno geološkim kartiranjem i radioaktivnim karotažom.

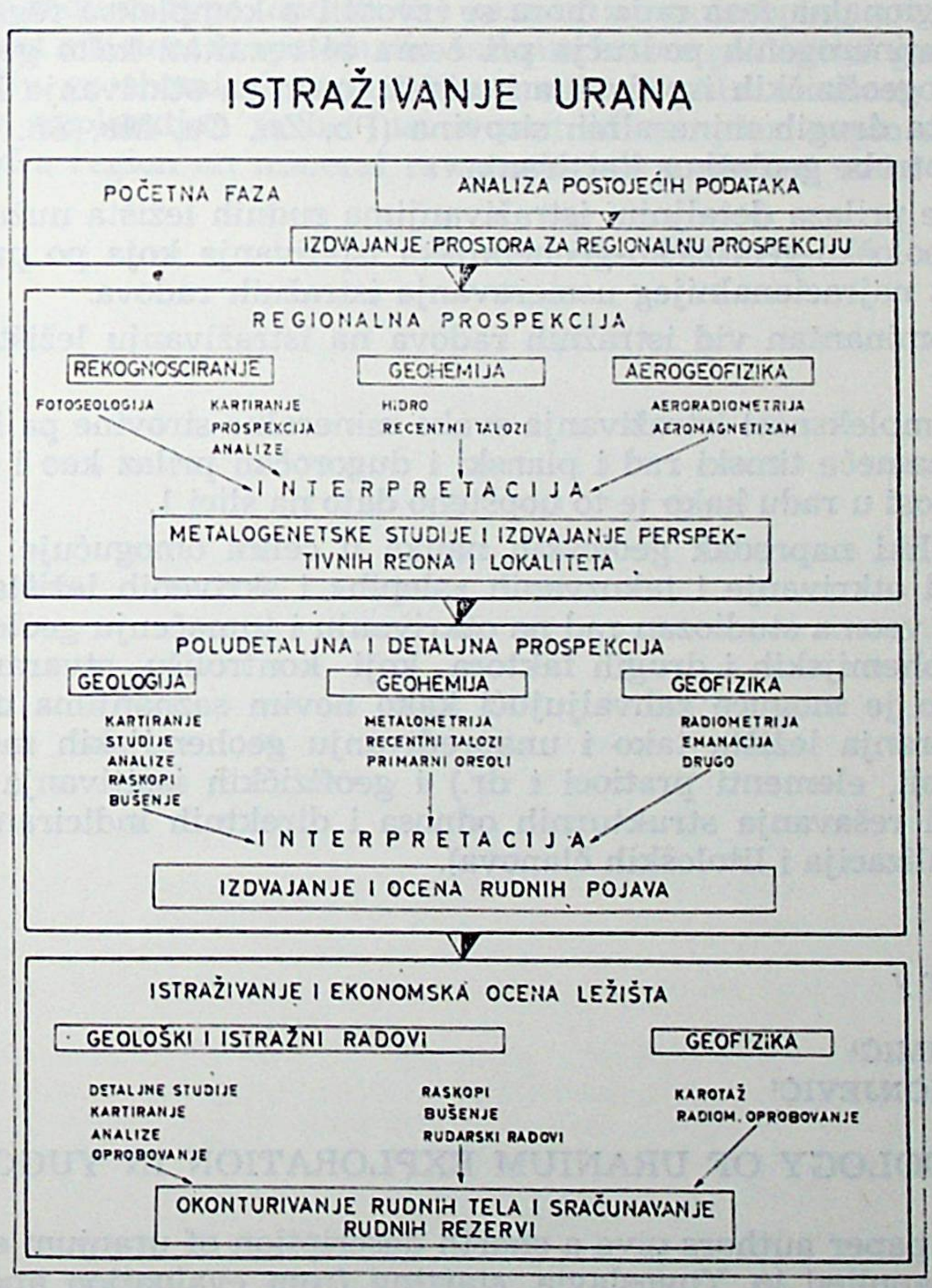
Pri istraživanju rudarskim radovima ovi se geološki kartiraju uz posebno obraćanje pažnje na rudokontrolirajuće elemente (razlomi, dajkovi, kontakti). Istovremeno se izvodi radiometrijski premer hodnika kao i oprobavanje i/ili radiometrijsko oprobavanje, otkrivenih orudnjenja.

U fazi istražnih radova za svako ležište se utvrđuju pomoću etalona sačinjenog od što reprezentativnije rude, parametri za kvantitativnu interpretaciju kako karotaža tako i radiometrijskog oprobavanja.

Rešavanje mineraloško-petroloških problema vrši se u fazama rada u meri potrebnoj za razjašnjenje tih odnosa. Detaljna mineraloška studija rude izvodi se u cilju dobijanja parametara za tehnološka ispitivanja koja su potrebna za tehničko-ekonomsku analizu istraženog ležišta.

Tehničko-ekonomska analiza ležišta koje se tretira završna je faza procesa istraživanja uranovih ležišta koja spada u domen geoloških radova.

Dakle, u ovom kratkom osvrtu na redosled i metodologiju ispitivanja urana dali smo redosled rada počev od ocene perspektivnosti i regionalnih ispitivanja pa do obračuna rudnih rezervi u ležištu. Svesni smo da bi daleko korisnije bilo da smo mogli i da svaku fazu rada ilustrujemo. Međutim, nadamo se da će i ovakav prikaz biti od koristi za sve one koji su uključeni u proces istraživanja mineralnih sirovina i naročito urana.



Umesto zaključaka možemo reći da je dvadesetogodišnje iskustvo na polju istraživanja urana u Jugoslaviji sledeće:

— Za pristup prospekciji i istraživanju urana, nužna je evaluacija svih postojećih geoloških podataka o izabranom prostoru kako u smislu

okontunivanja površina za regionalna ispitivanja tako i u smislu određivanja optimalne metodologije.

— Fotogeološka obrada terena uz aerogeofizička ispitivanja praćena proverom na zemlji mogu dati rezultate u najkraćem roku u slučaju direktnog indiciranja, tj. otkrivanja orudnjenja koje ima izdanak na površini.

— U cilju kako otkrivanja ležišta koja nemaju izdanke na površini ili kod kojih je ravnoteža u korist urana mogu se indicirati efikasno geohemijskim ispitivanjima bilo voda bilo recentnih taloga vodotokova ili stena direktno. Pri tome je neophodno analizirati uzorke i na elemente pratioce i indikatore kako zbog ležišta urana tako i zbog ležišta drugih mineralnih sirovina.

— Regionalna faza rada mora se izvoditi u kompleksu regionalnih ispitivanja minerogenih područja pri čemu bi rezultati kako geohemijskih tako i aerogeofizičkih ispitivanja koristili, osim za otkrivanje ležišta urana, i ležišta drugih mineralnih sirovina (Pb, Zn, Cu, Mo, Sn, Ti i drugi) kao i za potrebe geološkog kartiranja.

— Pre prilaza detaljnim istraživanjima rudnih ležišta nužna su kompleksna geološko-geofizičko-geohemijska ispitivanja koja po pravilu daju mogućnost najracionalnijeg usmeravanja istražnih radova.

— Dominantan vid istražnih radova na istraživanju ležišta urana je bušenje.

— Kompleksnost istraživanja svake mineralne sirovine pa i urana neminovno nameće timski rad i planski i dugoročan prilaz kao i sistematičnost i faznost u radu kako je to uopšteno dato na slici 1.

— Veliki napredak geoloških nauka u celini omogućuje kroz sistematski rad otkrivanje i takozvanih »slepih« i skrivenih ležišta pri čemu se zahteva veoma studiozan rad na otkrivanju i tumačenju geološko-strukturnih, geohemijskih i drugih faktora koji kontrolišu stvaranje ležišta urana. Ovo je moguće zahvaljujući kako novim saznanjima o zakonitostima stvaranja ležišta tako i unapređivanju geohemijskih metoda (primarni oreoli, elementi pratioci i dr.) i geofizičkih ispitivanja (povećane mogućnosti rešavanja strukturnih odnosa i direktnih indiciranja određenih mineralizacija i litoloških članova).

Summary

VLADAN SIMIĆ[1]
SPASOJE KONJEVIĆ[1]

METHODOLOGY OF URANIUM EXPLORATION IN YUGOSLAVIA

In the paper authors give a shorth description of uranium exploration procedure applied in Yugoslavia, starting from evaluation and study of all available geologic data and ending with ore reserves calculation and evaluation of ore deposit.

[1] Institute for geological and mining investigation and exploration of nuclear and other raw materials, Beograd.

The outline of area for regional prospecting is the result of initial preliminary study. After the regional prospecting phase, which is described more in detail being very important, one can outline either prospects (in the case of outcroping mineralization) or smaller area for successive complex semidetailed and detailed prospecting. Shorth description of applied methods in all phases and in differant field conditions are given in the paper as well as a possible model of uranium exploration, which completelly in the initial phase and parttially in the later phases correspond to the exploration of other mineral raw material too.

The leading methods in the uranium prospecting are aeroradiometric and geochemical methods. That is, according to the Yugoslave experience the most efficient method for fast discovery of outcroping uranium deposit is aeroradiometric method followed by ground check of obtained anomalies of radium type, and in the case of nonoutcroping uranium deposits the most efficient is systematic and successive geological geophysical and especially geochemical exploration methods. Also authors suggests, the uranium exploration to be just a part of complex exploration and evaluation of a region on mineral raw materials expected to be found in the region.

Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina. Sveska 9, 1974. godine

NEVENKA SIMIĆ

UDK: 550.83:553.495

KOEFICIJENT EMANIRANJA RUDA URANA, NJEGOV ZNAČAJ, NAČINI ODREĐIVANJA I PRAKTIČNA PRIMENA

(sa 4 slike i 3 tabele)

Predložen je i praktično ostvaren način određivanja popravke za emaniranje ruda pri radiometrijskom oprobavanju. Dobijene su brojne vrednosti popravke $\left(P = \frac{1}{\eta}\right)$ i izvršena je ocena veličine koeficijenta emaniranja (α) na dva načina: laboratorijskim putem mereći direktno količinu izdvojenog radona (Rn—222) iz uzoraka rude ležišta urana Žirovski vrh i preko gama zračenja produkata raspadanja radona putem hermetizacije veće količine rude ovog ležišta. Upoređivanjem ova dva načina određivanja pomenutog parametra potvrđena je dovoljno tačna brojna vrednost koeficijenta emaniranja a odstupanja u određivanju ovoga dvema metodama nalaze se u granicama od $\pm 5\%$ koliko je dozvoljeno pri kvantitativnim radiometrijskim metodama u rudarstvu.

Kvantitativna ocena emaniranja ruda i koeficijenta emaniranja ukazuju da rude ovog ležišta u domenu istražnog horizonta 580 m otpuštaju putem emaniranja prosečno 17% radona nastalog u procesu radioaktivnog raspadanja Ra—226, te da bez uvođenja odgovarajućih popravki sadržaj urana po podacima kvantitativnih radiometrijskih metoda može biti znatno niži od njegovog stvarnog sadržaja u rudi.

Zahvaljujući činjenici da je radioaktivna ravnoteža između radijuma i urana u domenu ispitivanja (horizont 580 m) pomerena za 17% u korist radijuma, efekat emaniranja nije imao bitnog uticaja na krajnji ishod određivanja sadržaja urana ovim metodama, jer je dolazilo do kompenzacije gubitka dela gama emitera viškom radijuma.

Ovo upućuje na činjenicu da je pri daljoj razradi i eksploataciji ovog ležišta neophodno uključiti svestraniju studiju stanja radioaktivne ravnoteže kako između Ra—226 i urana tako i između Ra(B+C) i Ra—226, ukoliko se želi masovnija primena radiometrijskih metoda kao što je gama karotaž i radiometrijsko oprobavanje. Studijom radioaktivne ravnoteže neophodno je obuhvatiti dublje rudonosne horizonte jer su do sada ova izučavanja bila ograničena uglavnom na rudna tela bliža površini gde je uticaj sekundarne migracije svakako imao svoga udela.

Uspešna primena kvantitativnih radiometrijskih metoda u istraživanju i eksploataciji nuklearnih mineralnih sirovina zavisna je od mnogobrojnih faktora koji utiču na njihovu ekonomičnost i tačnost. Od njih su svakako najbitniji oni faktori koji su vezani za osobenosti hemijskog sa-

stava ruda, spektralni sastav izmerenog gama zračenja, uticaj neravnomernosti orudnjenja, ravnoteže i emaniranja.

Nepovoljni uticaji određenog broja ovih faktora mogu se eliminisati izborom metode i načinom rada (5) dok je za drugo potrebno pribaviti podatke za proračun popravki koje se uvode u rezultate merenja.

Poznato je da se radiometrijskim metodama po gama zračenju dobija sadržaj urana indirektnim putem — preko gama zračenja. Ustvari se dobija sadržaj Ra(B+C) izražen u procentima urana. Ovako dobijen sadržaj Ra(B+C) odgovara stvarnom sadržaju urana samo u uslovima sačuvane radioaktivne ravnoteže između Ra(B+C) i urana.

Radioaktivna ravnoteža između Ra(B+C) i urana zavisi kako od ravnoteže sistema Ra-226 i urana tako i od ravnoteže sistema Ra(B+C) i Ra-226. Ravnoteža između Ra-226 i urana prvenstveno zavisi od geohemijskih faktora sredine u kojoj se formiraju ležišta urana i od migrativnih svojstava ova dva elementa. Međutim, ravnoteža sistema Ra(B+C) — Ra-226 uglavnom zavisi od emanirajuće sposobnosti ruda tj. od intenziteta otpuštanja radona koji se stvara u procesu radioaktivnog raspadanja Ra-226 u njima.

Radon je gasoviti produkat (emanacija) raspadanja Ra-226 a njegovi produkti Ra(B+C) su čvrsti (teški metali). U nizu U-238 oko 98% gama zračenja vezano je za produkte raspadanja radona dok preostalih 2% otpada na UX_1 i UX_2. Ukoliko dolazi do gubitka radona iz ruda putem emaniranja, ovaj gubitak povlači i proporcionalno smanjenje intenziteta merenog gama zračenja.

Sva kvantitativna određivanja koncentracija radioaktivnih elemenata u stenama i rudama po njihovom gama zračenju na mestu (»in situ«), faktički se obavljaju mereći intenzitet emanirajućeg aktivnog sloja. Posle otkrivanja rudnog sloja relativno brzo dolazi do smanjenja intenziteta njegovog gama zračenja usled gubitka radona. Prema tome, proces emaniranja koji je karakterističan u manjoj ili većoj meri za sve rude urana, ima direktnog odraza na rezultate gama metoda koje se koriste pri istraživanju i eksploataciji ležišta urana.

U praksi i literaturi se spominje više veličina koje karakterišu emaniranje. Od njih su najčešće: emanirajuća sposobnost i koeficijent emaniranja.

Emanirajuća sposobnost predstavlja količinu izdvojenog radona po gramu materijala a koeficijent emaniranja predstavlja odnos ovako izdvojenog radona prema sadržaju radijuma (Ra-226) u materijalu.

Uticaj emaniranja na rezultate kvantitativnih radiometrijskih metoda moguće je odrediti na dva načina od kojih se jedan zasniva na direktnom merenju količine izdvojenog radona iz uzoraka stena i ruda uz određivanje sadržaja Ra-226 u njima, a drugi na merenju intenziteta gama zračenja produkata raspadanja radona putem hermetizacije određene količine rudnog materijala. Ovaj poslednji, ima i svoju drugu varijantu koja uključuje hermetizaciju određene površine otkrivenog rudnog sloja na mestu (in situ).

REZULTATI ODREĐIVANJA KOEFICIJENTA EMANIRANJA RUDA LEŽIŠTA URANA ŽIROVSKI VRH SR SLOVENIJA

Određivanje koeficijenta emaniranja laboratorijskim putem preko radona

Metod se sastojao u određivanju emanirajuće sposobnosti i sadržaja Ra-226 u uzorcima rudnog materijala koji su uzeti iz rudnih tela otkrivenih istražnim radovima na horizontu 580 m ovog ležišta. Za analize je uzeto 6 uzoraka od kojih 5 u orudnjenom a 1 u neorudnjenom delu. Uzorci su uzimani iz različitih istražnih radova kako bi se dobili što reprezentativniji rezultati za ceo istražni horizont (tabela 1).

Određivanje emanirajuće sposobnosti uzoraka vršeno je pomoću emanometra SG-IM i jonizacionih komora i pomoću scintilacionih emanometara EM-6P. Količina izdvojenog radona iz uzorka uzimana je kao srednja vrednost dobijena merenjima sa dva instrumenta.

Sadržaj Ra-226 određivan je metodom spektrometrije gama fotona. Radijum je određivan merenjem njegovog gama fotona od 187 KeV pri čemu je kao detektor zračenja korišćen kristal NaJ (aktivira Tl) 50×50 mm i 400-kanalni analizator visine impulsa »INTERTECHNIQUE SA — 400B« spregnut sa specijalnim računarom sa magnetnom trakom (određivanje Ra-226 vršeno je u radiometrijskoj laboratoriji — R. N e d i m o v i ć).

Prosečna vrednost koeficijenta emaniranja dobijena na ovaj način iznosi 17,4% što znači da stene i rude ovog ležišta u domenu horizonta 580 m otpuštaju putem emaniranja 17,4% radona nastalog u njima u procesu radioaktivnog raspadanja Ra-226.

Određivanje koeficijenta emaniranja preko gama zračenja produkata raspadanja radona

Ovaj metod određivanja koeficijenta emaniranja sastojao se u hermetizaciji prethodno deemaniranog rudnog materijala u za to specijalno pripremljen metalni sanduk sa prozorom od aluminijumske folije debljine 1 mm i merenja intenziteta gama zračenja hermetizovane rude u dva vremenska intervala.

Prvo merenje je obavljeno 5 časova nakon hermetizacije rudnog materijala a drugo nakon uspostavljanja radioaktivne ravnoteže između radona i radijuma u rudi.

Razlika ova dva merenja daje veličinu gama zračenja proporcionalnu količini iz rude izdvojenog radona, a njihov odnos

$$\frac{I_o}{I_t} = \eta \qquad (1)$$

gde je:

I_o — Intenzitet gama zračenja meren 5 časova nakon hermetizacije kada je slobodan radon udaljen iz rude a zaostali njegovi produkti se raspali;

I_t — Intenzitet gama zračenja meren je nakon uspostavljene radioaktivne ravnoteže između Rn-222 i Ra-226 kada su prisutni produkti raspadanja radona u rudi,

TABELA BR. 1

Broj probe	Mesto uzimanja uzorka	Težina uzorka (gr.)	Količina izdvojenog radona iz uzorka (Ci)	Emanirajuća sposobnost uzorka (Ci/gr. materije)	Sadržaj Ra-226 u uzorku (Ci/gr. materije)	Koeficijent emaniranja (%)
1	Horizont 580; Pi-1 na 21,3 m. -ruda-	223,73	$3,399 \times 10^{-8}$	$1,519 \times 10^{-10}$	$8,353 \times 10^{-10}$	18,07
2	Horizont 580; H-1 na 1,0 m. -ruda-	190,74	$1,075 \times 10^{-8}$	$5,640 \times 10^{-11}$	$4,842 \times 10^{-10}$	11,65
3	Horizont 580; H-2162 na 5,0 m. -ruda-	153,83	$2,338 \times 10^{-8}$	$1,510 \times 10^{-10}$	$8,860 \times 10^{-10}$	17,04
4	Horizont 580; U-27 na 3,5 m. -ruda-	310,35	$1,440 \times 10^{-8}$	$4,640 \times 10^{-11}$	$1,710 \times 10^{-10}$	27,05
5	Horizont 580; U-28 na ortu -ruda-	186,66	$3,080 \times 10^{-8}$	$1,650 \times 10^{-10}$	$1,090 \times 10^{-9}$	15,13
6	Horizont 580; H-2 na 1380,0 m. -jalovina-	224,05	$1,160 \times 10^{-9}$	$5,170 \times 10^{-12}$	$3,339 \times 10^{-11}$	15,18

Srednja vrednost koeficijenta emaniranja = 104,12 : 6 = = 17,35 = 17,4%

predstavlja popravku za emaniranje. S druge strane (1) intenzitet gama zračenja emanirajućeg aktivnog sloja određen je izrazom:

$$I_o = I_t\left(1-\alpha\frac{\mu}{a}\,ln\frac{\mu+a}{\mu}\right) \tag{2}$$

gde je:

$I_t = \dfrac{2\cdot\pi\cdot K\cdot Q}{\mu}$ — Intenzitet gama zračenja beskonačnog sloja (poluprostranstvo);

μ — Koeficijent apsorpcije gama zračenja u rudi;

$a = \sqrt{\dfrac{\lambda}{D}}$ λ — konstanta radioaktivnog raspadanja Rn-222;

D — koeficijent difuzije radona;

α — koeficijent emaniranja ruda.

Iz jednačine (1) i (2) veličina η vezana je za koeficijent emaniranja α odnosom:

$$\eta = 1-\alpha\frac{\mu}{a}\,ln\frac{\mu+a}{\mu} \tag{3}$$

te rešenjem ove jednačine po α dobijamo koeficijent emaniranja kao:

$$\alpha = \frac{1-\eta}{\dfrac{\mu}{a}\,ln\dfrac{\mu+a}{\mu}} \tag{4}$$

Prema tome α zavisi od veličine η, koeficijenta apsorpcije gama zračenja μ i koeficijenta difuzije radona D.

Analiza ove jednačine ukazuje da promene koeficijenta difuzije D od $D=1\times10^{-4}$ do $D=1\times10^{-1}$ cm^2 sec^{-1} menja izraz $\dfrac{\mu}{a}\,ln\dfrac{\mu+a}{\mu}$ samo za 1.2 — 19.8% (tabela 2) a promena koeficijenta μ od $\mu=1\times10^{-2}$ do $\mu=1\times10^{-1}$ cm^{-1} povlači promenu izraza od 0.1 — 17.8% te sledi da se pri oceni α mogu koristiti orijentacione tablične vrednosti koeficijenta difuzije D (2) koje leže u predelu od 1×10^{-3} do 1×10^{-1} cm^2 sec^{-1}, jer su veće promene izraza vezane samo za niske vrednosti D i μ.

Za seriju permskih gredenskih peščara za koje je vezana uranska mineralizacija ovog ležišta, usvojili smo vrednost koeficijenta difuzije radona $D=1\times10^{-2}$ cm^2 sec^{-1}.

Efektivni koeficijent apsorpcije gama zračenja μ određen je po poznatoj zapreminskoj težini ruda koristeći konstantnost masenog koeficijenta apsorpcije stena i ruda ($\mu_{mas.}$).

Mnogobrojni opiti obavljeni i publikovani od raznih autora, ukazuju da se vrednosti masenog koeficijenta apsorpcije* u stenama i rudama kreću oko 0.035 gr.$^{-1}$ cm^2.

---

* Maseni Komptonov efekat apsorpcije je dominirajući proces pri interakciji gama zraka prirodnih radioaktivnih emitera sa materijom, dok je fotoelektrični efekat i stvaranje parova za lake elemente i elemente sa srednjim atomskim brojem praktično zanemarljivo.

Koeficijent apsorpcije gama zračenja vezan je za položaj elementa u periodnom sistemu i proporcionalno je zavisan od odnosa $\frac{Z}{A}$ gde je:

Z — efektivni atomski broj apsorbera;
A — efektivna atomska težina apsorbera.

TABELA BR. 2

D ($cm^2\,sec^{-1}$)	$\frac{\mu}{a}\ln\frac{\mu+a}{\mu}$ $\mu=9{,}8\times10^{-2}cm^{-1}$ = = constanta	Promena (%)	μ (cm^{-1})	$\frac{\mu}{a}\ln\frac{\mu+a}{\mu}$ $D=1\times10^{-2}cm^2sec^{-1}$ = = constanta	Promena (%)
1×10^{-4}	0,6138		1×10^{-2}	0,6176	
		19,8			17,8
5×10^{-4}	0,7655		2×10^{-2}	0,7516	
		6,9			7,7
1×10^{-3}	0,8230		3×10^{-2}	0,8156	
		9,1			4,4
5×10^{-3}	0,9058		4×10^{-2}	0,8538	
		2,7			1,2
1×10^{-2}	0,9315		5×10^{-2}	0,8649	
		3,8			3,0
5×10^{-2}	0,9698		6×10^{-2}	0,8929	
		1,2			2,0
1×10^{-1}	0,9823		7×10^{-2}	0,9117	
					0,1
			8×10^{-2}	0,9108	
					0,9
			9×10^{-2}	0,9192	
					1,5
			1×10^{-1}	0,9333	

Za sve elemente sa Z do 35 odnos $\frac{Z}{A}$ približno je jednak i iznosi 1/2.

Svi osnovni elementi koji izgrađuju stene upravo se nalaze u ovom intervalu, te je i maseni koeficijent apsorpcije za sve njih jednak. Koristeći ovu činjenicu i poznatu zapreminsku težinu ruda ovog ležišta određen je efektivni koeficijent apsorpcije gama zraka μ, koji je relacijom:

$$\mu=\rho\cdot\mu_{mas.}\text{ vezan sa }\rho\text{ i }\mu_{mas.}$$

Određivanje veličine η

U procesu uvođenja metode radiometrijskog gama oprobavanja na ovom ležištu urana određivan je koeficijent ekrana za olovni cilindrični ekran sa umetkom (5). Pri ovome je korišćen metalni sanduk-etalon razmere 50×50×50 cm sa prozorom od aluminijumske folije debljine 1 mm a zidovi sanduka su izrađeni od gvozdenog lima debljine 2 mm. U sanduk je zasipana ruda sa sadržajem od 0.458% urana zapreminske težine 2.7—2.8 gr/cm³. Ruda je zasipana u slojevima od po 10 cm a svaki od ovih je

tačkasto oprobavan po mreži 10×10 cm. Sanduk je napunjen rudom do vrha tako da je poklopac direktno i potpuno nalegao na rudni materijal — između rude i poklopca nije ostalo slobodnog prostora. Ruda za etalon dobijena je višestrukim homogeniziranjem i kvadriranjem početne količine (1.2 t) materijala uzetog oprobovanjem rudnih tela presečenih istražnim hodnikom P_1 na horizontu 580 m. Ruda je prethodno deemanirana putem višestrukog mešanja i homogeniziranja kako bi se iz nje udaljio slobodan radon a zatim je sanduk hermetizovan. Na poklopcu sanduka na aluminijumskoj foliji vršena su merenja za određivanje koeficijenta ekrana a isto tako i merenja vezana za određivanje koeficijenta emaniranja ruda.

Merenja su obavljena instrumentom GMT sa gama sondom i olovnim cilindričnim ekranom sa umetkom debljine 2.5 gr cm^{-2}. Korišćen je efekat razlike intenziteta gama zračenja (ΔI) meren bez umetka i sa umetkom na ekranu.

Prvo merenje je obavljeno 5 časova nakon hermetizacije tj. kada su se raspali zaostali produkti radona — Ra(B+C) koji je deemaniranjem odstranjen iz rude a što faktički odgovara emanirajućem poluprostranstvu. Razlika intenziteta gama zračenja merena u ovom momentu uzeta je kao srednja vrednost iz 15 obavljenih merenja pri različitom položaju gama sonde na mernoj foliji i iznosi $\Delta I_o = 288$ μR/hr.

Drugo merenje je obavljeno nakon uspostavljene radioaktivne ravnoteže između Rn-222 i Ra-226 u rudi tj. nakon uspostavljanja stacioniranog stanja kada je iz rude izdvojena količina radona u ravnoteži sa Ra-226 a što faktički odgovara neemanirajućem poluprostranstvu. Efekat razlike koji odgovara ovom stanju je $\Delta I_t = 340$ μR/hr.

Da bi dobili njegovu tačnu vrednost izvršeno je snimanje krive porasta efekta razlike intenziteta gama zračenja produkata raspadanja radona sa vremenom posle hermetizacije do uspostavljanja radioaktivne ravnoteže koja se manifestovala konstantnošću registrovanja vrednosti ΔI_t (sl. 1). Vrednost ΔI_t uzeta je kao srednja vrednost iz merenja u tri različita vremenska intervala (111, 173 i 222 dana nakon hermetizacije. Preko nje je određen koeficijent ekrana za radiometrijsko oprobavanje, dok smo ΔI_o i ΔI_t koristili za određivanje veličine η a preko ove koeficijenta emaniranja za rudni materijal etalona koji ustvari predstavlja srednju reprezentativnu probu rudnih sočiva iz domena horizonta 580 m ovog ležišta.

Određivanje koeficijenta emaniranja α

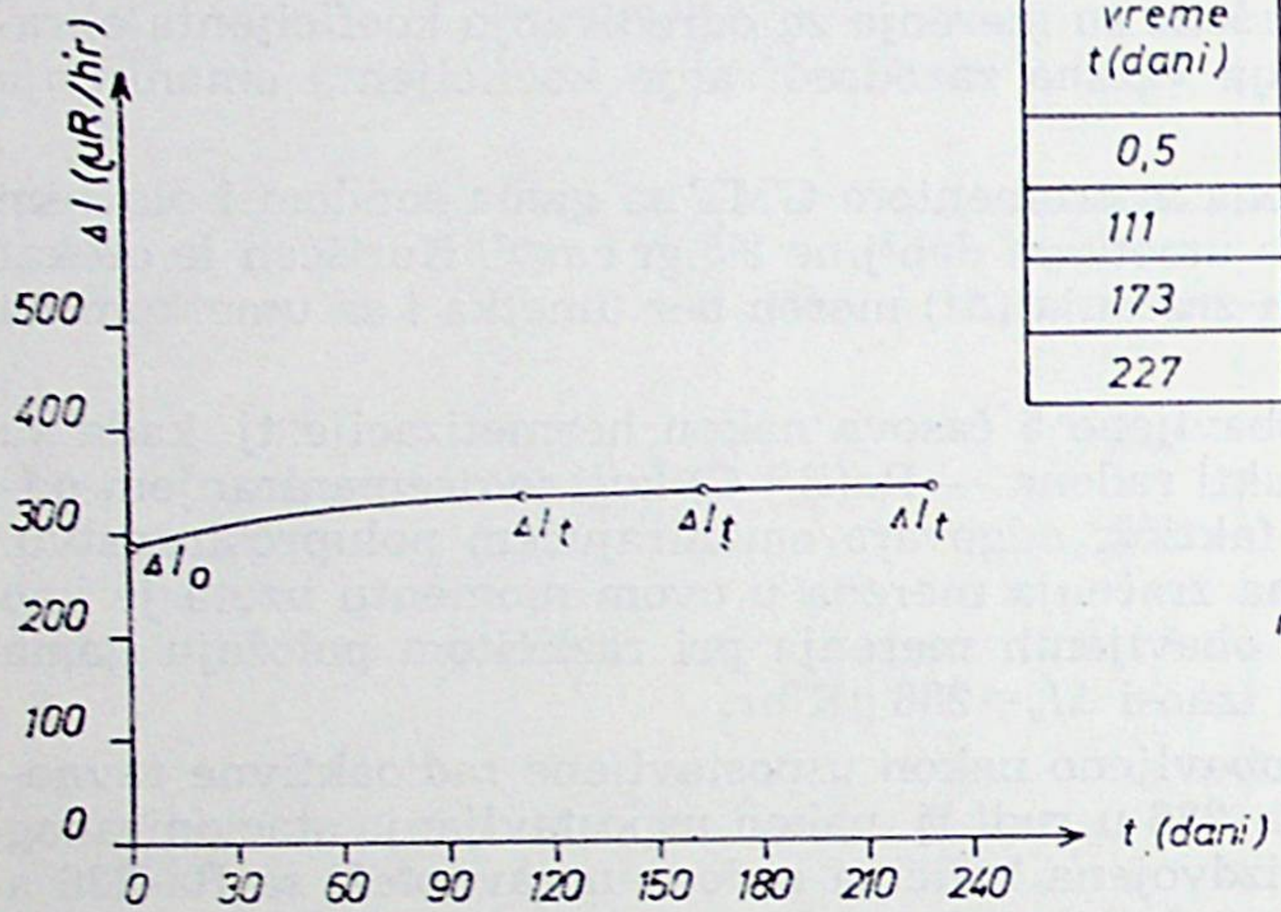
Merenjem efekta razlike intenziteta gama zračenja neposredno nakon hermetizacije (ΔI_o) i nakon uspostavljanja radioaktivne ravnoteže između radona i radijuma u hermetizovanoj rudi (ΔI_t) dobili smo razliku koja daje veličinu gama zračenja proporcionalnu količinu iz rude izdvojenog radona putem emaniranja, a odnos ova dva merenja daje veličinu $\eta = \frac{\Delta I_o}{\Delta I_t} = \frac{288}{340} = 0.847$ preko koje je određen koeficijent emaniranja α, koristeći

jednačinu (4). Na bazi analize ove jednačine usvojena je vrednost koeficijenta difuzije D, a efektivni koeficijent apsorpcije gama zraka μ je određen po poznatoj zapreminskoj težini ruda ($\rho = 2.8$ gr/cm^3) preko relacije

$$\mu_{mas.} = \frac{\mu}{\rho} = 0.035 \text{ gr}^{-1} \text{ cm}^2 \text{ tj.}$$

$$\mu = \mu_{mas} \cdot \rho = 3.5 \times 10^{-2} \times 2.8 = 9.8 \times 10^{-2} \text{ cm}^{-1}.$$

vreme t(dani)	datum merenja	ΔI_t (μR/hr)
0,5	21 mart	288
111	12 jul	339
173	14 septemb.	340
227	8 novembar	340



$$\eta = \frac{\Delta I_0}{\Delta I_t} = 0{,}847; \quad P = \frac{1}{\eta} = 1{,}18$$

SL.1 KRIVA PORASTA EFEKTA RAZLIKE (ΔI) INTENZITETA GAMA ZRAČENJA PRODUKATA RASPADANJA RADONA SA VREMENOM

ΔI - efekat razlike intenziteta gama zračenja produkata raspadanja radona (μR/hr);

t - vreme od momenta hermetizacije rude (dani);

$P = \frac{1}{\eta} = 1{,}18$ - popravka za emaniranje.

FIG. 1 THE GROWING CURVE OF THE DIFFERENCE (ΔI) OF GAMMA INTENSITY OF RADON DAUGHTER PRODUCTS WITH TIME.

ΔI - The difference of gamma intensity of radon daughter products (μR/hr.);

t - The time from the moment of sealing of the ore (days)

$P = \frac{1}{\eta} = 1{,}18$ - the correction for emanating.

Zamenom ovih vrednosti u jednačinu

$$\alpha = \frac{1-\eta}{\frac{\mu}{a} ln \frac{\mu+a}{\mu}} \qquad (4)$$

gde je:

$\eta = \frac{\Delta I_o}{\Delta I_t} = 0.847$; μ — efektivni koeficijent apsorpcije gama zraka tj. $\mu = 9.8 \times 10^{-2}\ cm^{-1}$;

$a = \sqrt{\frac{\lambda}{D}}$; λ — konstanta raspadanja Rn-222 $= 2.0974 \times 10^{-6}\ sec^{-1}$;

D — usvojeni koeficijent difuzije radona $= 1 \times 10^{-2} cm^2 sec^{-1}$

dobijamo da je koeficijent emaniranja $\alpha = 0.164 = 16.4\%$.

Upoređenjem ove vrednosti sa koeficijentom emaniranja dobijenim laboratorijskim putem preko radona, vidi se da su odstupanja ove dve veličine reda $\pm 5\%$ što je sasvim zadovoljavajuće za kvantitativna radiometrijska merenja u rudarstvu. Koeficijent emaniranja određen direktno preko radona iznosi 17.4% a preko produkata raspadanja radona na modelu hermetizovane rude je 16.4%.

Prema tome, rude ovog ležišta u domenu horizonta 580 m otpuštaju putem emaniranja oko 17% nastalog u njima radona u procesu radioaktivnog raspadanja Ra-226 a što dovodi do proporcionalnog gubitka dela gama zračenja vezanog za produkte raspadanja radona tj. za Ra (B+C). Stoga sledi da je u rezultate kvantitativnih radiometrijskih gama metoda neophodno uvoditi popravku za emaniranje kako bi se dobio stvarni sadržaj urana.

Uporedo sa određivanjem koeficijenta emaniranja i koeficijenta ekrana preko hermetizacije rude, vršeno je i određivanje stanja radioaktivne ravnoteže između Ra-226 i urana. Rezultati ovih ispitivanja ukazuju da je koeficijent ravnoteže između Ra-226 i urana $K_r = \frac{0.5356}{0.4582} = 1.17 = 117\%$ tj. ravnoteža je uspostavljena sa 117%. Zapaža se višak radijuma od 17%. Uzrok ovoj pojavi je svakako sekundarna migracija urana.

Sudeći po stanju ravnoteže između Ra-226 i urana, trebalo bi očekivati da će kvantitativne radiometrijske metode (gama oprobavanje i gama karotaž) ustvari pokazati veće sadržaje urana od njegovog stvarnog prisustva u rudi. Međutim, usled emaniranja dolazi približno do gubitka iste količine gama emitera koliko je više prisutno usled viška radijuma u odnosu na uran, te podaci ovih metoda daju približno iste vrednosti sadržaja urana kao i hemijske metode. Zahvaljujući ovakvom stanju, gubitak gama emitera usled emaniranja kompenzira se viškom radijuma (u odnosu na uran) u domenu horizonta 580 m.

Daljom razradom ovog ležišta svakako bi trebalo obratiti veću pažnju proučavanju radioaktivne ravnoteže u dubljim nivoima ležišta i to ne samo stanju ravnoteže radijum — uran već i Ra(B+C) — Ra-226.

Ukoliko se pokaže da je ravnoteža sistema Ra-226 — U neporemećena tj. da su ova dva elementa u ravnotežnom odnosu, treba učiniti korak dalje i odrediti stanje ravnoteže između Ra(B+C) i Ra-226.

Pri proračunu rudnih rezervi za ovo ležište (4) uočavaju se određene razlike u sadržaju urana po hemijskom analiziranju praha iz bušotina i po gama karotažu oprobovanog intervala, te bi uzrok nižim sadržajima urana po gama karotažu trebalo možda pripisati uticaju emaniranja.

Ukoliko se konstatuje da je radioaktivna ravnoteža između Ra(B+C) i Ra-226 poremećena emaniranjem, u rezultate pomenutih metoda treba uvoditi odgovarajuće popravke. Jedna bi se odnosila na stanje ravnoteže sistema Ra-226 — U, a druga na emaniranje odnosno stanje ravnoteže sistema Ra(B+C) — Ra-226. Ako je ravnoteža radijum — uran uspostavljena a Ra(B+C) — radijum poremećena emaniranjem, sadržaji urana po ovim metodama morali bi se korigovati popravkom za emaniranje i to množeći dobijene sadržaje odnosom $\frac{1}{\eta}=P$ ili $\frac{1}{1-\alpha}$ gde je α — koeficijent emaniranja.

Popravka ($\frac{1}{\eta}=P$) može se direktno koristiti samo u slučaju kada je njeno određivanje izvršeno na modelu hermetizovane rude pri čemu ne postoji slobodan prostor između rude i poklopca na kome se vrši merenje ΔI_o i ΔI_t (1).

Popravka za emaniranje ($P=\frac{1}{\eta}$) i njena zavisnost od D, μ i α

Grafici koji odgovaraju jednačini:

$$P=\frac{1}{\eta}=\frac{1}{1-\alpha-\frac{\mu}{\sqrt{\frac{\lambda}{D}}}\ln\frac{\mu+\sqrt{\frac{\lambda}{D}}}{\mu}}$$

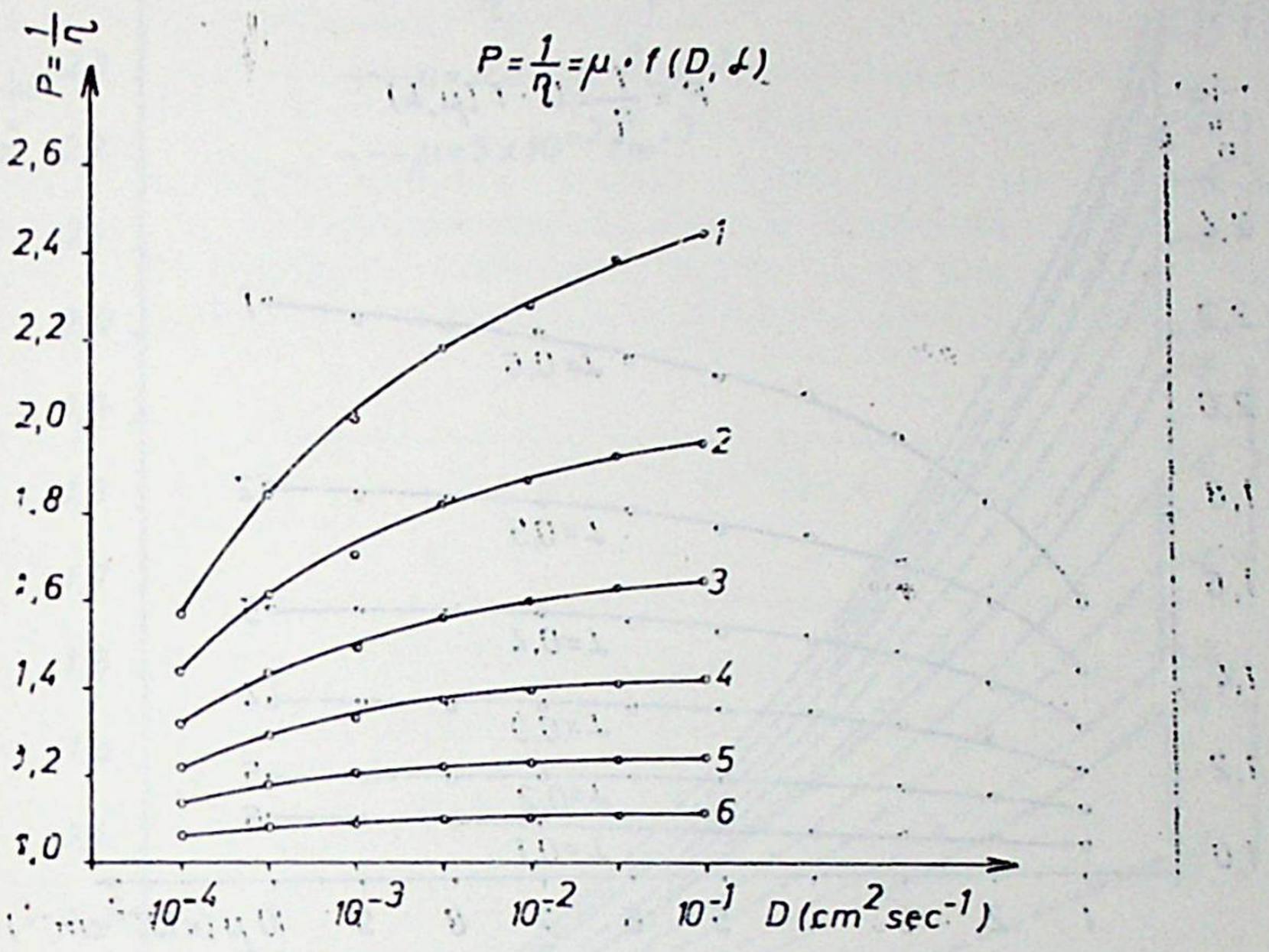
za promenu D od $D=1\times10^{-4}$ do $D=1\times10^{-1}\text{cm}^2\text{sec}^{-1}$ i $\alpha=0.1$ do $\alpha=0.6$ pri $\mu=9.8\times10^{-2}\text{cm}^{-1}=$ const. dati su na slici 2 u vidu zavisnosti popravke P od koeficijenta emaniranja α, i koeficijenta difuzije radona D.

Analiza ovih grafika pokazuje da su promene popravke P, izrazitije za veće vrednosti α pri promeni D, tj. popravka P malo je zavisna od promene koeficijenta difuzije D pri niskim vrednostima koeficijenta α.

Na slici 3 data je zavisnost P od koeficijenta α i μ. Analiza ovih grafika pokazuje da P raste sa porastom μ za veće vrednosti α tj. popravka P je malo zavisna od promene koeficijenta apsorpcije μ pri nižim vrednostima α.

Na slici 4 dati su grafici jednačine

$$P=\frac{1}{\eta}=f(\alpha,\ D,\ \mu)$$



SL. 2 ZAVISNOST POPRAVKE ($P=\frac{1}{\eta}$) OD KOEFICIJENTA EMANIRANJA (λ) I KOEFICIJENTA DIFUZIJE (D)

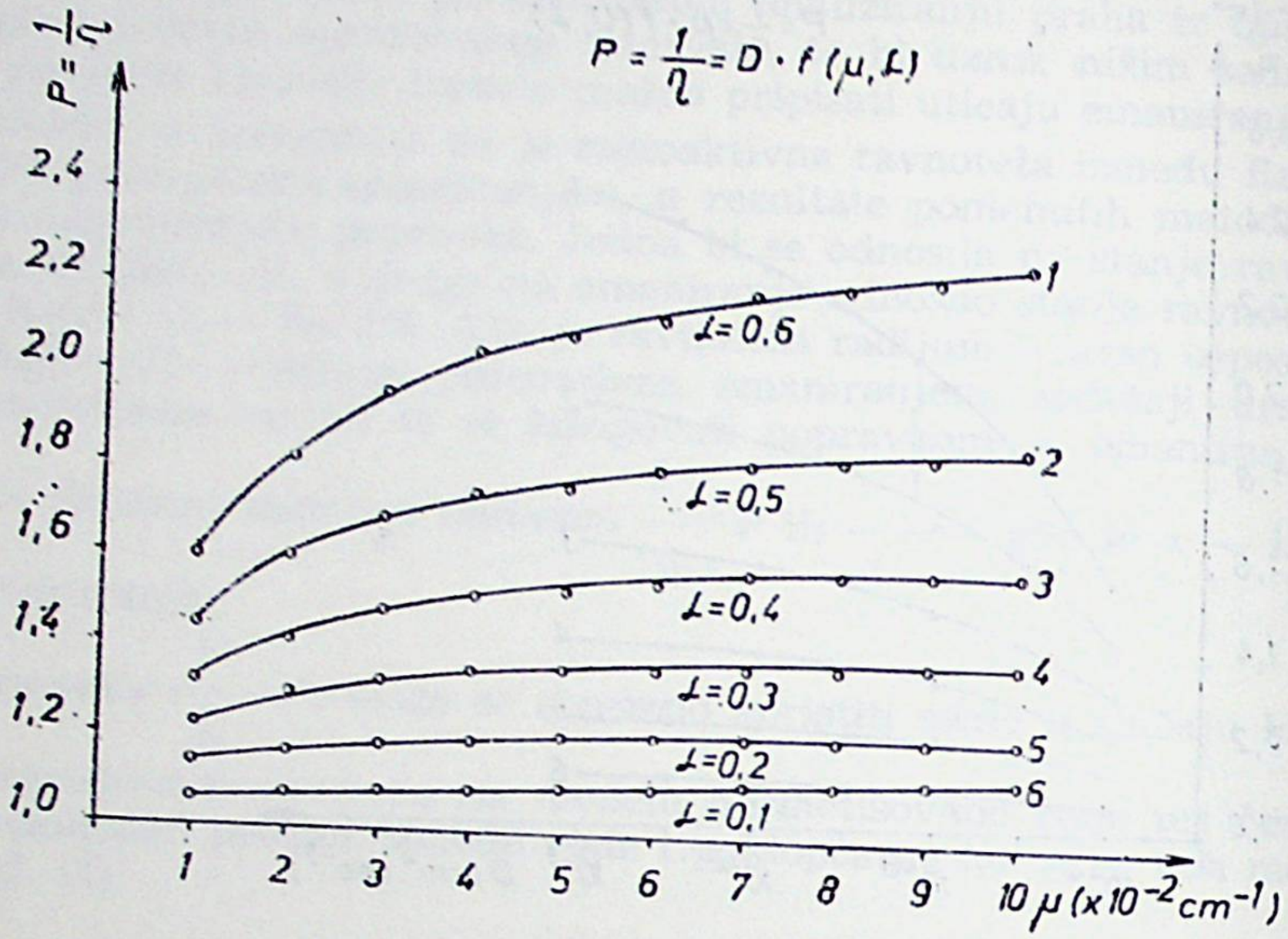
1-6: grafici jednačine $P=\frac{1}{\eta}=\frac{1}{1-\lambda\frac{\mu}{\sqrt{\frac{\lambda}{D}}}\ln\frac{\mu+\sqrt{\frac{\lambda}{D}}}{\mu}}$

za promenu λ od $\lambda=0,1$ do $\lambda=0,6$ i D od $D=1\times10^{-4}\ cm^2 sec^{-1}$ do $D=1\times10^{-1} cm^2 sec^{-1}$ pri $\mu=9,8\times10^{-2} cm^{-1}$ = constanta,

FIG. 2 THE DEPEDENCE OF CORRECTION. $P=\frac{1}{\eta}$ FROM THE COEFFICIENT OF EMANATION (λ) AND COEFFICIENT OF THE DIFFUSION (D)

1 - 6: the graphics of equation . $P=\frac{1}{\eta}=\frac{1}{1-\lambda\frac{\mu}{\sqrt{\frac{\lambda}{D}}}\ln\frac{\mu+\sqrt{\frac{\lambda}{D}}}{\mu}}$

for exchange λ from $\lambda=0,1$ to $\lambda=0,6$ and D from $D=1\times10^{-4} cm^2 sec^{-1}$ to $D=1\times10^{-1} cm^2 sec^{-1}$ under $\mu=9,8\times10^{-2} cm^{-1}$ = constant.



SL. 3 ZAVISNOST POPRAVKE ($P = \frac{1}{\eta}$) OD KOEFICIJENTA EMANIRANJA (L) I KOEFICIJENTA APSORPCIJE GAMA ZRAČENJA (μ)

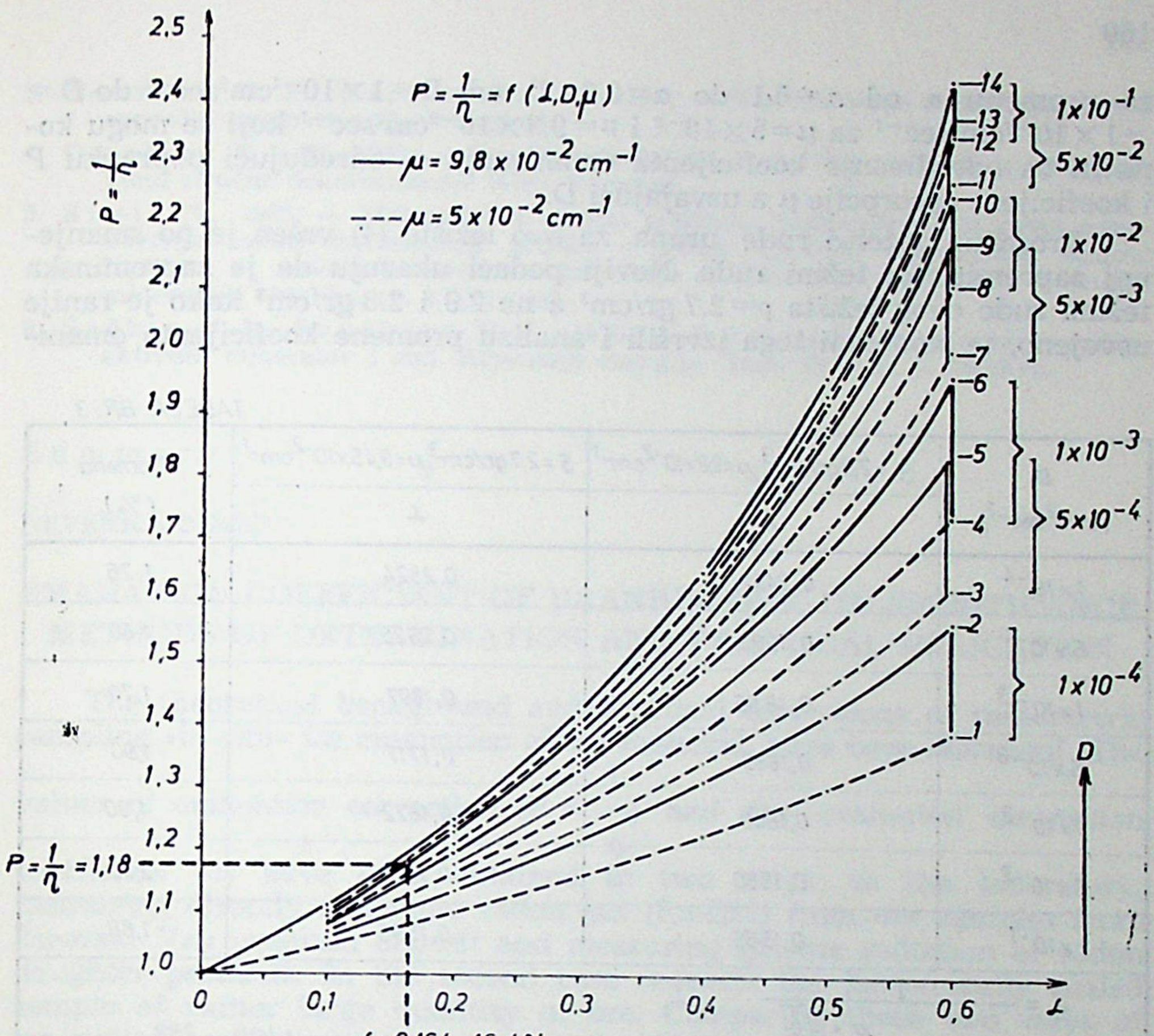
1-6: grafici jednačine $P = \frac{1}{\eta} = \frac{1}{1 - L \frac{\mu}{\sqrt{\frac{\lambda}{D}}} \ln \frac{\mu + \sqrt{\frac{\lambda}{D}}}{\mu}}$

za promenu L od $L = 0,1$ do $L = 0,6$ i μ od $\mu = 1 \times 10^{-2} cm^{-1}$ do $\mu = 1 \times 10^{-1} cm^{-1}$ pri $D = 1 \times 10^{-2} cm^2 sec^{-1}$ = constanta

FIG. 3 THE DEPEDENCE OF CORRECTION $P = \frac{1}{\eta}$ FROM THE COEFFICIENT OF EMANATION (L) AND COEFFICIENT OF THE APSORPTION OF GAMMA RAYS (μ)

1-6: the graphics of equation $P = \frac{1}{\eta} = \frac{1}{1 - L \frac{\mu}{\sqrt{\frac{\lambda}{D}}} \ln \frac{\mu + \sqrt{\frac{\lambda}{D}}}{\mu}}$

for exchange L from $L = 0,1$ to $L = 0,6$ and μ from $\mu = 1 \times 10^{-2} cm^{-1}$ to $\mu = 1 \times 10^{-1} cm^{-1}$ under $D = 1 \times 10^{-2} cm^2 sec^{-1}$ = constant.



SL. 4 ZAVISNOST POPRAVKE $P=\frac{1}{\eta}$ OD KOEFICIJENTA EMANIRANJA ($\mathcal{L}$), KOEFICIJENTA DIFUZIJE (D) I KOEFICIJENTA APSORPCIJE GAMA ZRAČENJA (μ)

1 - 14: grafici jednačine $P=\frac{1}{\eta}=\frac{1}{1-\mathcal{L}\frac{\mu}{\sqrt{\frac{\lambda}{D}}}\ln\frac{\mu+\sqrt{\frac{\lambda}{D}}}{\mu}}$

za promenu $\mathcal{L}$ od $\mathcal{L}=0{,}1$ do $\mathcal{L}=0{,}6$ i D od $D=1\times10^{-4}cm^2sec^{-1}$ do $D=1\times10^{-1}cm^2sec^{-1}$ pri $\mu=5\times10^{-2}cm^{-1}$ i $\mu=9{,}8\times10^{-2}cm^{-1}$.

FIG. 4 THE DEPEDENCE OF CORRECTION $P=\frac{1}{\eta}$ FROM THE COEFFICIENT OF EMANATION ($\mathcal{L}$), COEFFICIENT OF THE DIFFUSION (D) AND COEFFICIENT OF THE APSORPTION OF GAMMA RAYS (μ)

1 - 14: the graphics of equation $P=\frac{1}{\eta}=\frac{1}{1-\mathcal{L}\frac{\mu}{\sqrt{\frac{\lambda}{D}}}\ln\frac{\mu+\sqrt{\frac{\lambda}{D}}}{\mu}}$ for

exchange: $\mathcal{L}$ from $\mathcal{L}=0{,}1$ to $\mathcal{L}$ 0,6; D from $D=1\times10^{-4}cm^2sec^{-1}$ to $D=1\times10^{-1}cm^2sec^{-1}$ under $\mu=5\times10^{-2}cm^{-1}$ and $\mu=9{,}8\times10^{-2}cm^{-1}$

za promenu α od $\alpha=0.1$ do $\alpha=0.6$, D od $D=1\times10^{-4}$cm^{2}sec^{-1} do $D=1\times10^{-1}$cm^{2}sec^{-1} za $\mu=5\times10^{-2}$ i $\mu=9.8\times10^{-2}$cm^{2}sec^{-1} koji se mogu koristiti za određivanje koeficijenta emaniranja α, određujući popravku P i koeficijent apsorpcije μ a usvajajući D.

Proračun rezervi rude urana za ovo ležište (4) vršen je po smanjenoj zapreminskoj težini rude. Noviji podaci ukazuju da je zapreminska težina rude ovog ležišta $\rho=2.7$ gr/cm^3 a ne 2.9 i 2.8 gr/cm^3 kako je ranije usvojeno, te smo radi toga izvršili i analizu promene koeficijenta emani-

TABELA BR. 3

D ($cm^2 sec^{-1}$)	$S=2{,}8 gr/cm^3; \mu=9{,}8\times10^{-2} cm^{-1}$	$S=2{,}7 gr/cm^3; \mu=9{,}45\times10^{-2} cm^{-1}$	Promena (%)
	L	L	
1×10^{-4}	0,2492	0,2524	1,26
5×10^{-4}	0,1993	0,2025	1,60
1×10^{-3}	0,1865	0,1897	1,70
5×10^{-3}	0,1685	0,1717	1,90
1×10^{-2}	0,1640	0,1672	1,90
6×10^{-2}	0,1580	0,1612	2,00
1×10^{-1}	0,1565	0,1595	1,88

$$L=\frac{1-\eta}{\frac{\mu}{\sqrt{\frac{\lambda}{D}}}\ln\frac{\mu+\sqrt{\frac{\lambda}{D}}}{\mu}} \qquad \mu=\mu_{mas}\times S \qquad \eta=\frac{\Delta J_o}{\Delta J_t}=\frac{288}{340}=0{,}847$$

ranja α u zavisnosti od promene D, pri $\rho=2.8$ gr/cm^3 tj. $\mu=9.8\times10^{-2}$cm^{-1} i $\rho=2.7$ gr/cm^3 odnosno $\mu=9.45\times10^{-2}$cm^{-1}. Rezultati ove analize dati su u tabeli 3 iz koje se vidi da promena zapreminske težine rude od 2.8 gr/cm^3 na 2.7 gr/cm^3 izaziva promenu $\alpha<2\%$. Prema tome, određeni koeficijent emaniranja na modelu hermetizovane rude ne trpi bitne promene ako se usvoji zapreminska težina rude od 2.7 gr/cm^3 kako je proračunom rudnih rezervi učinjeno.

(Predato za štampu juna 1974. godine).

LITERATURA

1. Bolotnikov A. N., Arcibašev V. A., 1961: — Sposob opredelenija popravok na emanirovanie radioaktivnih rud v estestvennom zaleganii pri radiometričeskom oprobovanii. S. Vop. rud. geofiziki, Vip. 3. Leningrad.
2. Grammakov A. G., Nikonov A. N., Tafeev G. P., 2957: — Radiometričeskie metodi poiskov i razvedki uranovih rud. GOSGEOLTEHIZDAT, Moskva.

3. Novikov G. F., Kapkov Ju. N., 1965: — Radioaktivnie metodi poiskov i razvedki uranovih rud. Leningrad.

4. Omaljev V. i dr., 1969: — Istraživanje ležišta urana Žirovski vrh u 1968. god. Fond stručne dokumentacije IGRI, Beograd.

5. Simić N., 1967: — Matematička obrada podataka radiometrijskog gama oprobovanja, uzroci sistematskih grešaka i načini njihovog otklanjanja. Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, sv. 3, Beograd.

6. Šaškin V. L., Prutkina M. I., 1970: — O mehanizme emanirovania radioaktivnih mineralov i rud. Atomnaja energija, Tom. 29, Vip. 1. Moskva.

Summary

NEVENKA SIMIĆ[1]

EMANATION COEFFICIENT OF URANIUM ORE, ITS SIGNIFICANCE, METHODS OF DETERMINATION AND PRACTICAL APLICATION

The theoretical background and practical corrections of radiometric sampling »in situ« for emanation of ore material, have been discussed. The values of emanation correction ($P = \frac{1}{\eta}$) and the evaluated emanation coefficient (α) have been obtained in two ways: in the laboratory, measuring directly emanated radon gas (Rn-222) from ore samples from Žirovski Vrh uranium deposit and measuring gamma radiation of radon daughter products. In the second case requests the hermetically sealed sample of rather large quantity of ore. Comparing those two ways of emanation coefficient determination the discrepancies are in satisfactory limits ($\pm 5\%$) for radiometric sampling.

In this way determined emanation of ore and emanation coefficient indicate that the investigated uranium ore (level 580 m.) emanate average 17% of radon gas created in the process of radioactive decay of Ra-226, resulting in radiometrically obtained ore grade, without adequate correction, will be apreciably lower than real. It has been estimated, in the same time, that radioactiv equilibrium between radium and uranium in the ore of investigated level (580 m.) is in favor of radium for 17%, and consequently the above mentioned effect on radiometrically obtained ore grade did not have significant influence. The lack of gamma emitters has been comprensated by the excess of radium.

According to the mentioned data author suggests the investigation of radioactive equilibrium between Ra-226 and uranium and Ra(B+C) and Ra-226 if radiometric sampling and logging should applied in the process of exploration and exploitation of Žirovski Vrh and similar uranium deposits. It is also necessary to investigate the deeper parts of ore bodies due to the fact that all investigations conducted so far have been concentrated on the upper parts of deposit, where the supergene processes are dominant for migration of radionuclides.

---

[1] Institute for geological and mining investigation and exploration of nuclear and other raw materials, Beograd.

Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina. Sveska 9, 1974. godine

RUŽICA NEDIMOVIĆ

UDK: 554.65

ODREĐIVANJE OLOVA, CINKA, BAKRA I TITANA POMOĆU PRENOSNOG ANALIZATORA FLUORESCENTNOG X-ZRAČENJA

(sa 22 slike i 2 tabele)

U radu su prikazane mogućnosti primene prenosnog analizatora fluorescentnog X-zračenja kod ispitivanja geoloških materijala sa ležišta Pb—Zn, Cu i Ti. Ispitivanja su vršena na sprašenim uzorcima, zidovima potkopa, raskopima, komadima ruda i stena, jezgrima bušotina i šlihovima.

Ispitivani su različiti faktori — efekat matriksa i veličine zrna, dubina prodiranja X-zračenja, geometrija merenja i vlažnost, — koji utiču na tačnost određivanja sadržaja metala ovom metodom. Date su sugestije kako se može povećati tačnost u pojedinim slučajevima.

Dobijena je osetljivost detekcije za olovo 0,12 do 0,34% Pb, cink 0,06 do 0,24% Zn, bakar 0,08 do 0,14% Cu i 0,24% Ti (integralna merenja). Određivanje koncentracije bakra kod impregnacionog tipa ležišta, na osnovu merenja in-situ, je povoljnije u odnosu na određivanje koncentracija olova i cinka kod žičnog tipa ležišta zbog manjeg uticaja heterogenosti u rasporedu rudnih minerala. Rezultati ispitivanja na praškovima su superiorniji u pogledu tačnosti prema merenjima in-situ. U cilju postizanja najbolje moguće tačnosti kod analiza metala ovom metodom predlaže se da se, za svako ležište ili veći broj ležišta istog tipa, koriste kalibracione linije dobijene na osnovu merenja i hemijskih analiza standarda sa odgovarajućih ležišta.

Metoda fluorescencije X-zračenja, kao jedan od metoda za direktnu primenu na terenu, se može smatrati više savršenijom semi-kvantitativnom nego kvantitativnom metodom. Primena ove metode je od posebnog značaja kod prospekcije mineralnih sirovina, gde se ne zahteva visoka tačnost već uglavnom relativne vrednosti koncentracije i distribucije ispitivanog elementa, i gde su od izuzetne važnosti brzina određivanja i velika prilagodljivost za različite uslove rada na terenu.

UVOD

Razvoj i usavršavanje instrumenata za nuklearna merenja na bazi tranzistora, kao i primena radioizotopnih izvora za pobuđivanje fluorescentnih fotona, omogućili su da se u toku prošle decenije konstruiše jedan terenski instrument, prenosni analizator fluorescentnog zračenja. Ovaj instrument se koristi pretežno za analize metala bez destrukcije materijala. Ima široku primenu u geološkoj prospekciji, rudarskim istraživanjima a takođe se koristi u industrijskim laboratorijama za ispitivanja legura metala.

Uređaj, sa kojim raspolaže Institut, je jedan od prvih komercijalno izrađenih instrumenata, proizveden krajem 1968. godine. Prva ispitivanja osetljivosti ovog instrumenta izvršena su na veštačkim uzorcima od bakra, nikla, cinka, olova, molibdena, titana, kalaja i volframa (5). Eksperimentalna merenja na dnevnom kopu u Majdanpeku su pokazala da rezultati kalibracije sa veštačkim uzorcima ne mogu da se primene kod određivanja metala in-situ, sem u slučaju kada je sastav stena identičan sastavu materijala koji je upotrebljen za izradu standarda. Cilj ovoga rada je da se na osnovu merenja sprašenih uzoraka ruda i merenja in-situ — na zidovima potkopa, komadima ruda i stena, jezgrima iz bušotina i šlihovima — dobiju kalibracione linije i prikažu mogućnosti primene prenosnog analizatora kod određivanja olova, cinka, bakra i titana.

Rad po ovoj temi je finansiran iz fonda za naučni rad Instituta i izvršen 1971. godine. Zahvaljujem inž. R. Pantiću, inž. S. Putniku, inž. T. Jančiću, inž. M. Stojkoviću i inž. C. Markovu koji su omogućili terenska merenja i pomogli u prikupljanju materijala. Takođe dugujem zahvalnost D. Vezmaru za rad na terenskim i laboratorijskim merenjima.

OPIS PRIMENJENOG INSTRUMENTA

Instrument je nabavljen od engleske firme »Nuclear Enterprises Ltd« i sastoji se od sonde-detektora NE 5527 i analizatora-integratora NE 8433.

Kao detektor služi kristal NaI(Tl), prečnika 3,7 cm i debljine 2 mm, sa prozorom od berilijuma debljine 0,2 mm. Kristal je spregnut sa fotomultiplikatorom EMI 6097. Apsorpcioni filtrovi su smešteni neposredno ispred detektora i mogu se menjati jednostavnim mehanizmom. Radioizotopni izvor je postavljen centralno ispred filtrova. Zračenje izvora je eliminisano olovnom pločicom koja se nalazi ispred izvora kad se instrument ne koristi. Za vreme merenja ova pločica se automatski uklanja a istovremeno se postavlja odgovarajući filtar. Sonda je pogodna za merenja površine ruda ili za sprašene uzorke u kontejnerima.

Prenosni analizator-integrator NE 8433 je izrađen sa silikonskim tranzistorima i integrisanim kolima. Hermetički je zatvoren da bi se smanjio uticaj promene temperature i vlažnosti u toku rada pri terenskim uslovima.

Instrument sa sondom je težak 8 kg. Radi na nikl-alkalne akumulatore ili na baterije.

PRINCIP METODE

Princip rada prenosnog analizatora fluorescentnog X-zračenja je isti kao i kod standardnih uređaja za rendgensku fluorescentnu analizu. Razlika je jedino u načinu pobuđivanja i selekciji fluorescentnih fotona. Kod standardnih uređaja fluorescentni fotoni se pobuđuju pomoću X-zračenja dobijenih elektronskim putem a selekcija se vrši pomoću kristalne difrakcije. Prenosni analizator koristi za pobuđivanje X-zračenja radioizotopni izvor a selekcija se vrši pomoću filtrova i elektronskog diskriminatora.

Svaki elemenat, pobuđen primarnim zračenjem, daje karakterističan spektar fluorescentnih X-zračenja, koji je nastao kao posledica popunjavanja elektronskih ljuski iz kojih su uklonjeni elektroni fotoelektričnim dejstvom primarnih zračenja. Kod X-fluorescencije od primarnog su interesa K X-zračenja, mada se, u nekim slučajevima mogu da koriste i L X-zračenja.

Za izdvajanje fluorescentnog zračenja ispitivanog elementa koriste se balansni filtrovi. Njihova primena zavisi od karakterističnih prekida, apsorpcionih ivica, na liniji zavisnosti masenog apsorpcionog koeficijenta pojedinih elemenata od energije fluorescentnih fotona. Moguće je odabrati elemente za izradu filtrova, tako, da karakteristična linija ispitivanog elementa leži između njihovih apsorpcionih ivica. Pažljivom selekcijom debljina filtrova može se postići da njihova transmisija bude jednaka u širokom opsegu energija, sem u slučaju propusnog pojasa — energetskog pojasa između apsorpcionih ivica. U tom slučaju će razlika u intenzitetu fluorescentnih X-zračenja između balansnih filtrova (razlika čitanja broja impulsa u sekundi na instrumentu sa svakim filtrom) predstavljati intenzitet K X-zračenja ispitivanog elementa, i biće linearno zavisna od koncentracije traženog elementa u ispitivanom materijalu. Danas se komercijalno mogu dobiti filtrovi za sledeće elemente:

Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Nb, Mo, Sn (K X); Pb, W (L X);

Teorijski, optimalna ekscitacija fluorescentnog zračenja postiže se pobuđivanjem sa izvorom monoenergetskih fotona, čija je energija samo nešto veća od energije apsorpcione ivice ispitivanog elementa. Postoji relativno mali broj radioizotopnih izvora koji ispunjavaju ove zahteve. Radi toga se koriste izvori na principu zakočnog zračenja (5).

Efekat matriksa i veličine zrna

Slično konvencionalnim metodama analiza pomoću X-zračenja, i kod analiza prenosnim analizatorom postoje ista ograničenja u pogledu uticaja matriksa i varijacije u veličini zrna.

Efekat matriksa se manifestuje na dva načina: kao apsorpcija fluorescentnih radijacija ispitivanog elementa težim elementima, prisutnim u matriksu, i kao povećanje fluorescentnih radijacija ispitivanog elementa usled prisutnosti elemenata sa višim energijama fluorescentnih radijacija u matriksu.

Varijacije u veličini zrna, varijacije sastava fluorescentnih čestica, kao i prostorna raspodela čestica, dovodi do zajedničkog efekta — efekta heterogenosti. Ovaj efekat može da bude naročito izražen kod direktnih određivanja metala in-situ. Uopšte, može se reći da, sa smanjivanjem veličine zrna intenzitet fluorescentnog zračenja se povećava.

Poslednjih godina je dosta učinjeno da se raznim metodama eliminiše uticaj matriksa. Većina teorija je ograničena na specijalne slučajeve tretiranja efekta matriksa (13). Teorijske formule za korekciju ovog efekta, već kod tri do četiri elementa su dosta komplikovane. Kod geoloških materijala, gde je broj komponenata znatno veći, teorijski proračuni korekcija su mnogo teži i pitanje je da li bi imali univerzalnu primenu.

Neke tehnike koriste specijalne metode pripremanja uzoraka razblaživanjem, stapanjem sa bornom kiselinom, mlevenjem ili dodavanjem unutrašnjih standarda. Teško da bi se ovi načini mogli primeniti za terenska merenja.

Metode sa nomogramima (paketima krivih) obično se odnose na dva elementa: Cu, Fe; Sn, Fe (2, 6, 12); Pb, Zn (6). Upotreba ovih nomograma za korekciju interelementarnih efekata je prilično teška u praksi, jer i fluorescentno zračenje, i zračenje fona, variraju sa veličinom zrna. Ako uzorci nisu specijalno pripremljeni, ovaj efekat može da maskira ili uveća efekat matriksa.

Teorijske jednačine koje daju promene fluorescentnog intenziteta u zavisnosti od veličine zrna mogu da se primene samo kod homogenih sistema (13). Kod heterogenih sistema, kao što su geološki materijali, ovakav način korigovanja fluorescentnih intenziteta teško da bi bio moguć.

Iz svega što je dosad rečeno u pogledu ova dva efekta, izgleda, da je najpovoljnije rešenje da se za kalibraciju koriste uzorci-standardi, koji su po svom sastavu matriksa i veličini zrna isti, ili što je moguće sličniji uzorcima koji će kasnije biti mereni.

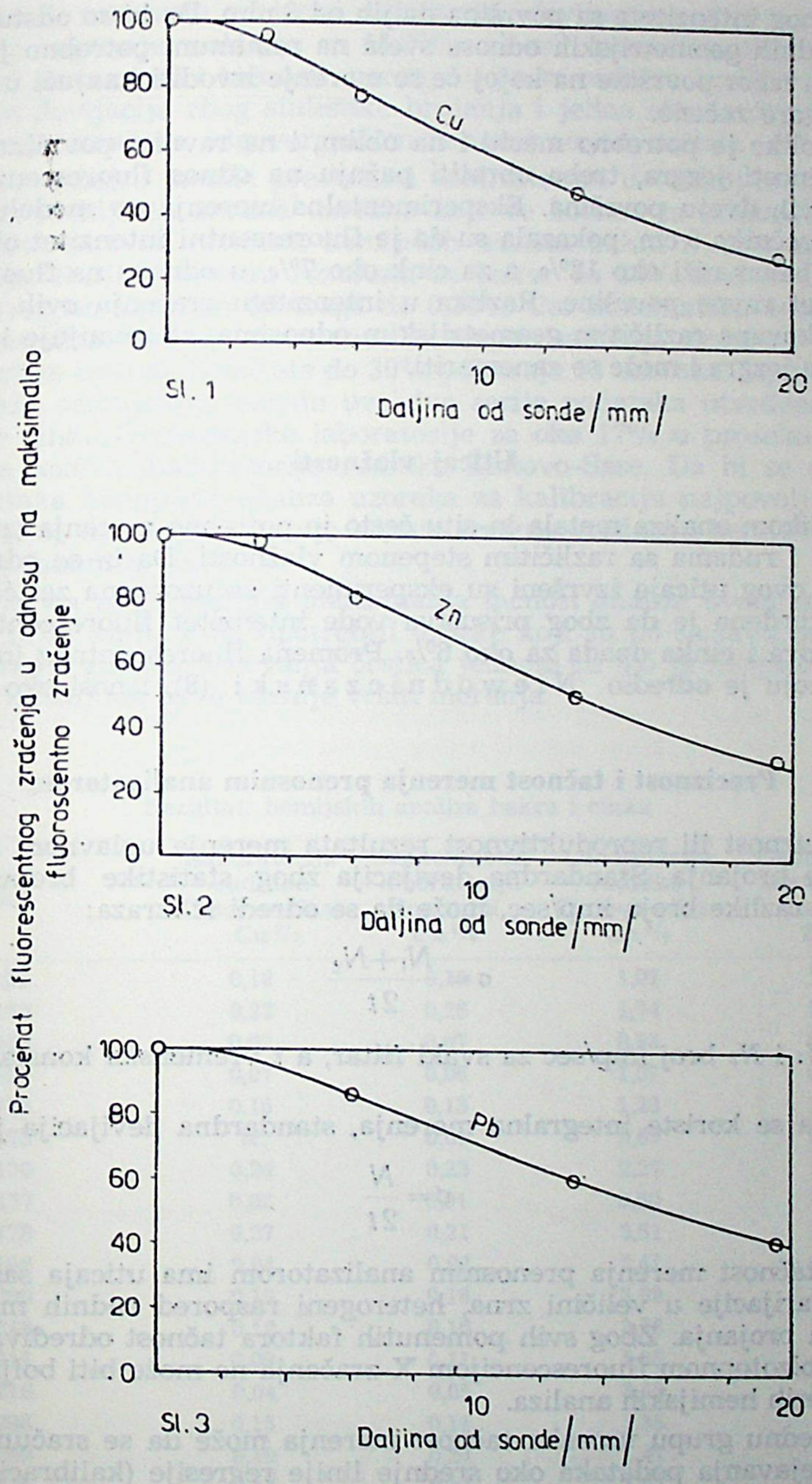
Sva merenja praškova su vršena na materijalu koji je pripreman za hemijske analize. Dimenzije zrna od 100 do 150 meša ima 18% ovog materijala, a između 150 i 200 meša 82%.

Dubina prodiranja

Zbog apsorpcije karakterističnih fluorescentnih radijacija u uzorku se ispituje samo jedan tanak sloj materijala. Dubina prodiranja fluorescentnih fotona zavisi od gustine uzorka i energije karakterističnih zračenja. Za nedrobljene uzorke maksimalna dubina prodiranja je oko 3 mm za kalaj, a manja od 1 mm za bakar (2). Zbog toga ova merenja ne mogu uvek da daju reprezentativne srednje probe, izuzev u slučaju kada je distribucija metala u steni ravnomerna. Merenja samlevenih materijala u posudama standardne geometrije mogu imati znatno povoljniju reorezentativnost.

Geometrija merenja

Prilikom merenja neravnih površina stena potrebno je proceniti vrednost takvog merenja, zbog odstupanja od standardnih geometrijskih odnosa sonda — uzorak. Ispitivanja sa pločicama od bakra, cinka i olova, za radioizotopni izvor ^{238}Pu, pokazuju da fluorescentni intenzitet opada približno linearno sa udaljavanjem uzorka od sonde (sl. 1, 2, 3). Na rastojanju od 1 cm od sonde intenzitet fluorescentnog X-zračenja bakra opadne za 40%, cinka 36% i olova 28%. Na daljini od 2 cm opadanje fluorescentnog intenziteta iznosi za bakar 74%, za cink 70% i za olovo 60%. Na sondi postoje tri nožice visine oko 3 mm. Ravne površine stena su normalno udaljene oko 3 mm od sonde u toku merenja. Kod merenja neravnih površina, sa reljefom oko 6 mm, može se pretpostaviti da se povećani fluorescentni intenzitet, sa površina bližih sondi od 3 mm, kompenzira opadanjem fluo-



Sl. 1

Sl. 2

Sl. 3

Sl. 1, 2, 3. — Uticaj povećanja daljine uzorka od sonde na fluorescentna zračenja bakra, cinka i olova za radioizotopni izvor ^{236}Pu.

rescentnog intenziteta sa površina daljih od 3 mm. Da bi se odstupanja od standardnih geometrijskih odnosa svela na minimum potrebno je izvršiti pravilan izbor površine na kojoj će se merenje izvoditi imajući u vidu sve što je gore rečeno.

Ukoliko je potrebno meriti i na oblim, i na ravnim površinama zbog izlomljenosti jezgra, treba obratiti pažnju na odnos fluorescentnog zračenja ovih dveju površina. Eksperimentalna merenja na modelu od mesinga, prečnika 5 cm, pokazala su da je fluorescentni intenzitet oble površine za bakar niži oko 12%, a za cink oko 7%, u odnosu na fluorescentni intenzitet ravne površine. Razlika u intenzitetu zračenja ovih površina, prouzrokovana različitim geometrijskim odnosima, se smanjuje kod većih prečnika jezgra i može se zanemariti.

Uticaj vlažnosti

Prilikom analiza metala in-situ često je potrebno merenja izvoditi na stenama i rudama sa različitim stepenom vlažnosti. Da bi se odredio red veličine ovog uticaja izvršeni su eksperimenti sa uzorcima zasićenim vodom. Utvrđeno je da zbog prisustva vode intenzitet fluorescentnog zračenja olova i cinka opada za oko 6%. Promena fluorescentnog intenziteta bakra, koju je odredio N i e w o d n i c z a ń s k i (8), iznosi oko 3%.

Preciznost i tačnost merenja prenosnim analizatorom

Preciznost ili reproduktivnost rezultata merenja uglavnom zavisi od statistike brojanja. Standardna devijacija zbog statistike brojanja, kod merenja razlike broja imp/sec, može da se odredi iz izraza:

$$\sigma = \frac{N_1 + N_2}{2t}$$

gde su N_1 i N_2 broj imp/sec za svaki filtar, a t vremenska konstanta integratora.

Kada se koriste integralna merenja, standardna devijacija je:

$$\sigma = \frac{N}{2t}$$

Na tačnost merenja prenosnim analizatorom ima uticaja sastav matriksa, varijacije u veličini zrna, heterogeni raspored rudnih minerala i statistika brojanja. Zbog svih pomenutih faktora tačnost određivanja metala radioizotopnom fluorescencijom X-zračenja ne može biti bolja od tačnosti dobrih hemijskih analiza.

Za jednu grupu uzoraka tačnost merenja može da se sračuna iz stepena rasejavanja podataka oko srednje linije regresije (kalibracione linije), koja koreliše merenja fluorescentnog intenziteta uzoraka sa hemijskim analizama. Standardna devijacija regresije (Sy) daje srednju meru odstupanja originalnih podataka od linije regresije (prosečnog odnosa) i koristi se za procenu pouzdanosti ocene, koja se donosi na osnovu prosečno-

nog odnosa. U intervalu od jedne standardne devijacije regresije, iznad i ispod linije regresije, nalaziće se 68,27% od svih posmatranih podataka. Pri proceni preciznosti i tačnosti merenja u ovom radu su korišćene jedna standardna devijacija zbog statistike brojanja i jedna standardna devijacija regresije, izražene odgovarajućom koncentracijom metala.

Tačnost analiza metala prenosnim analizatorom u velikoj meri zavisi od tačnosti hemijskih analiza uzoraka koje se koriste za kalibraciju. Na tabeli 1 prikazani su rezultati hemijskih analiza bakra i cinka iz dveju laboratorija. Razlike između rezultata za bakar do 30% ima 17 uzoraka od 20, za raspon sadržaja od traga do 0,30% Cu. Sistematska odstupanja kod ovih analiza nisu konstatovana. Za raspon sadržaja cinka od 0,50 do 4,08%, razlike između rezultata do 30% pokazuje 13 uzoraka. Ispitivanjem sistematskih odstupanja između ove dve serije podataka utvrđeno je da su analize cinka Geohemijske laboratorije za oko 17% u proseku niže u odnosu na analize Laboratorije rudnika Zletovo-Sase. Da bi se smanjio uticaj grešaka hemijskih analiza uzoraka za kalibraciju najpovoljniji način je da se za kalibracione linije koriste srednje vrednosti hemijskih analiza iz više laboratorija.

Uopšte, da bi se postigla maksimalna tačnost analiza ovom metodom potrebno je za kalibraciju upotrebiti uzorke koji su po sastavu matriksa, veličini zrna i gustini pakovanja čestica jednaki ili što je moguće sličniji uzorcima na kojima će se kasnije vršiti merenja.

Tabela 1

Rezultati hemijskih analiza bakra i cinka

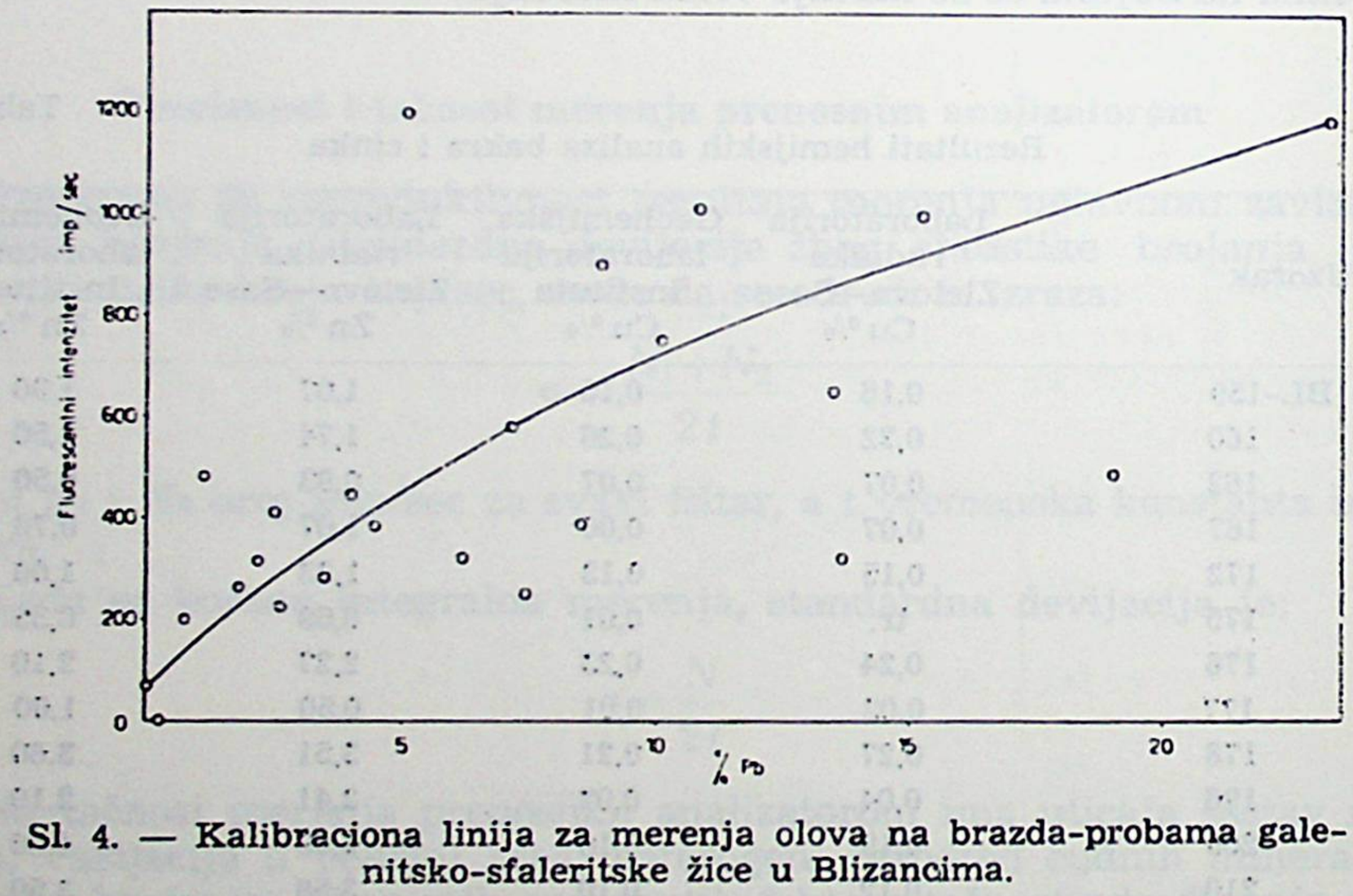
Uzorak	Laboratorija rudnika Zletovo—Sase Cu %	Geohemijska laboratorija Instituta Cu %	Laboratorija rudnika Zletovo—Sase Zn %	Geohemijska laboratorija Instituta Zn %
BL-159	0,16	0,15	1,07	1,00
160	0,22	0,26	1,74	1,50
163	0,07	0,07	0,93	0,50
167	0,07	0,06	1,07	0,70
172	0,15	0,13	1,23	1,00
175	tr.	0,01	0,69	0,35
176	0,24	0,23	2,27	2,10
177	0,02	0,01	0,50	1,00
178	0,27	0,21	3,51	3,60
196	0,04	0,02	2,41	2,10
209	0,19	0,16	3,69	4,00
210	0,12	0,10	3,58	3,50
211	0,09	0,11	1,65	1,30
216	0,04	0,05	3,48	2,10
238	0,15	0,11	1,35	1,30
240	0,19	0,24	1,47	1,00
248	0,14	0,11	1,63	1,20
252	0,12	0,12	2,29	2,10
254	0,09	0,39	4,08	1,20
256	0,30	0,25	3,85	3,50

Za pobuđivanje L X-zraka olova ($L_{(\alpha)}$, 10,55 keV) i K X-zraka cinka (K_α 8,64 keV) korišćen je radioaktivni izvor ^{238}Pu, jačine 10 mCi. Određivanje olova je vršeno pomoću para apsorpcionih filtrova od galijuma i germanijuma, a cinka sa filtrovima od nikla i bakra.

Kod određivanja olova i cinka, pošto se oba metala najčešće pojavljuju zajedno u rudama, javlja se interelementarni efekat — olovo apsorbuje K X-zrake cinka i obrnuto, cink apsorbuje L X-zrake olova. Uzajamni uticaj ovih metala odražava se i na njihovim kalibracionim linijama. Ukoliko su razlike između koncentracija olova i cinka veće, interelementarni efekat biće izraženiji.

Merenja in-situ

Merenja olova i cinka su vršena duž površina brazda-proba galenitsko-sfaleritske žice u istražnom potkopu H-11, u Blizancima. Rudna žica je praćena impregnacijama sulfida gvožđa, olova i cinka (9). Osim pomenutih sulfida znatno ređe se javlja halkopirit.



Sl. 4. — Kalibraciona linija za merenja olova na brazda-probama galenitsko-sfaleritske žice u Blizancima.

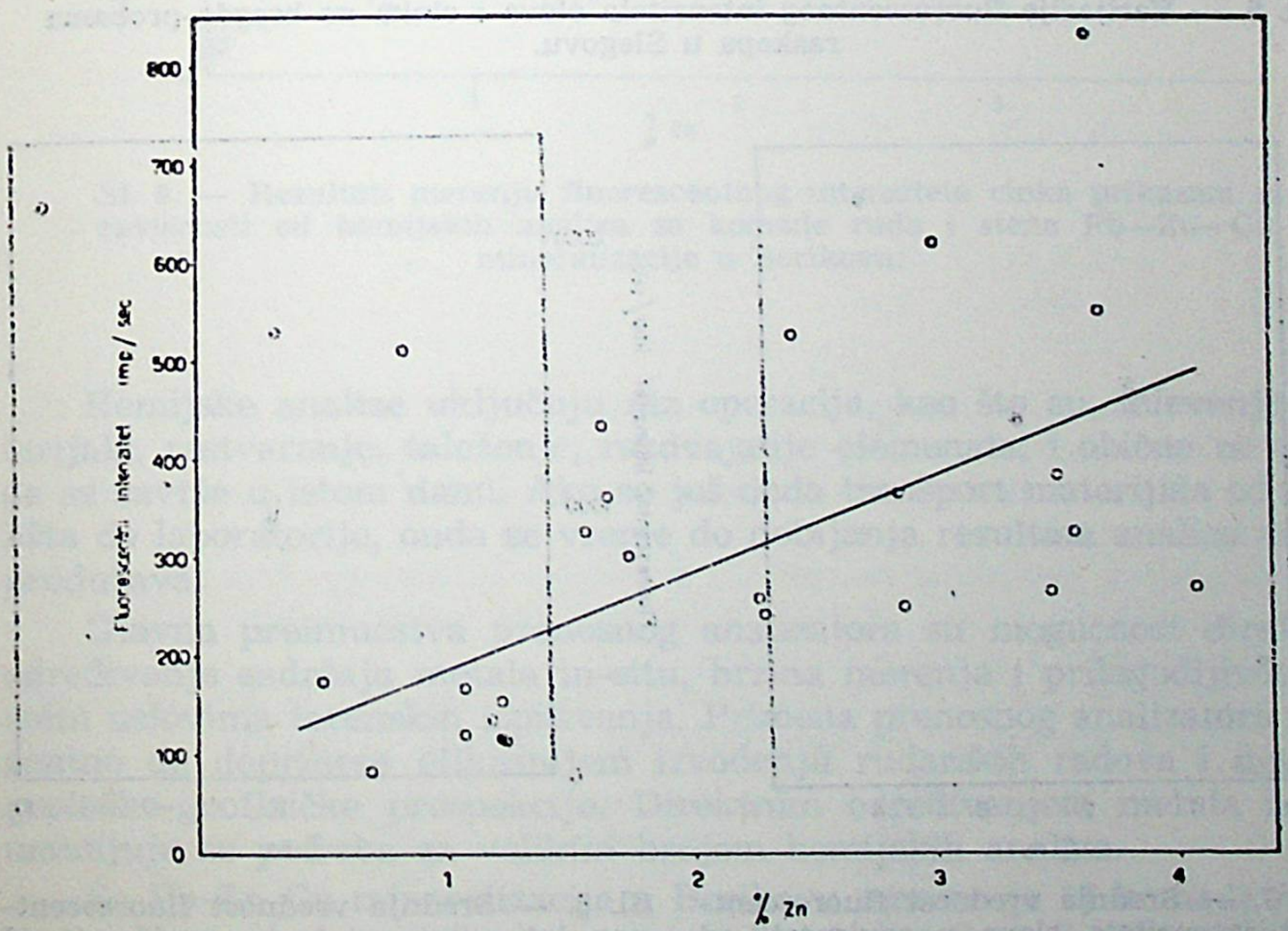
Slike 4 i 5 prikazuju rezultate merenja olova i cinka upoređene sa hemijskim analizama brazda-proba. Rezultati predstavljaju srednju vrednost iz 4 do 7 merenja. Ukupno je mereno 24 brazda-proba. Merenja su vršena na površinama brazda posle uzimanja materijala za hemijske analize. Tačnost određivanja (jedna standardna devijacija regresije, Sy) za olovo iznosi:

Raspon sadržaja olova u %	Sy u % Pb	σ u % Pb	
0— 3	1,50—1,70	0,17	(4—7 merenja, vremenska konstanta 4 sec)
3—10	1,70—2,80	0,54	(4—7 merenja, vremenska konstanta 1 sec)
10—23	2,80—3,80	1,00	(4—7 merenja, vremenska konstanta 1 sec)

Tri rezultata pokazuju odstupanja veća od tri standardne devijacije regresije. Uopšte uzev, veće rasejavanje pokazuju rezultati sa višim koncentracijama olova; standardna devijacija zbog statistike brojanja (σ) je takođe veća kod ovih rezultata. Jedan od bitnih uzroka je pojava samoapsorpcije. Sa povećavanjem koncentracija olova usled samoapsorpcije zračenja fluorescentni intenzitet opada. Ovaj efekat ima uticaja na smanjivanje nagiba kalibracione linije, odnosno osetljivosti. Granica detekcije iznosi 0,34% olova.

Za interval sadržaja od 0,50 do 4,08% cinka, tačnost određivanja je 1,13% Zn, a standardna devijacija zbog statistike brojanja je 0,12% (4 sec) do 0,28% Zn (1 sec). Granica detekcije je 0,24% Zn. Jedan rezultat pokazuje odstupanje veće od tri standardne devijacije regresije.

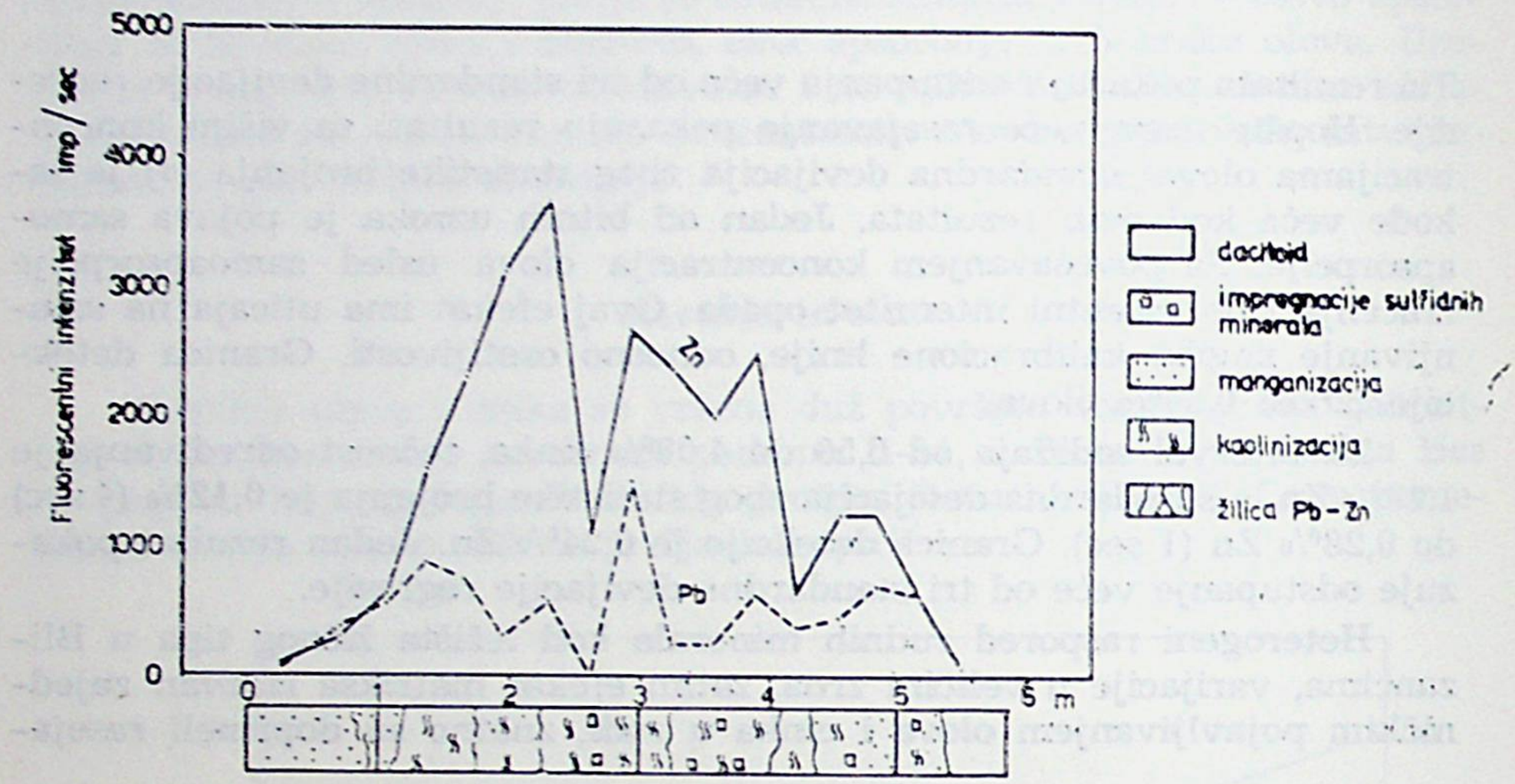
Heterogeni raspored rudnih minerala kod ležišta žičnog tipa u Blizancima, varijacije u veličini zrna, zatim efekat matriksa izazvan zajedničkim pojavljivanjem olova i cinka u rudi, znatno su doprineli raseja-



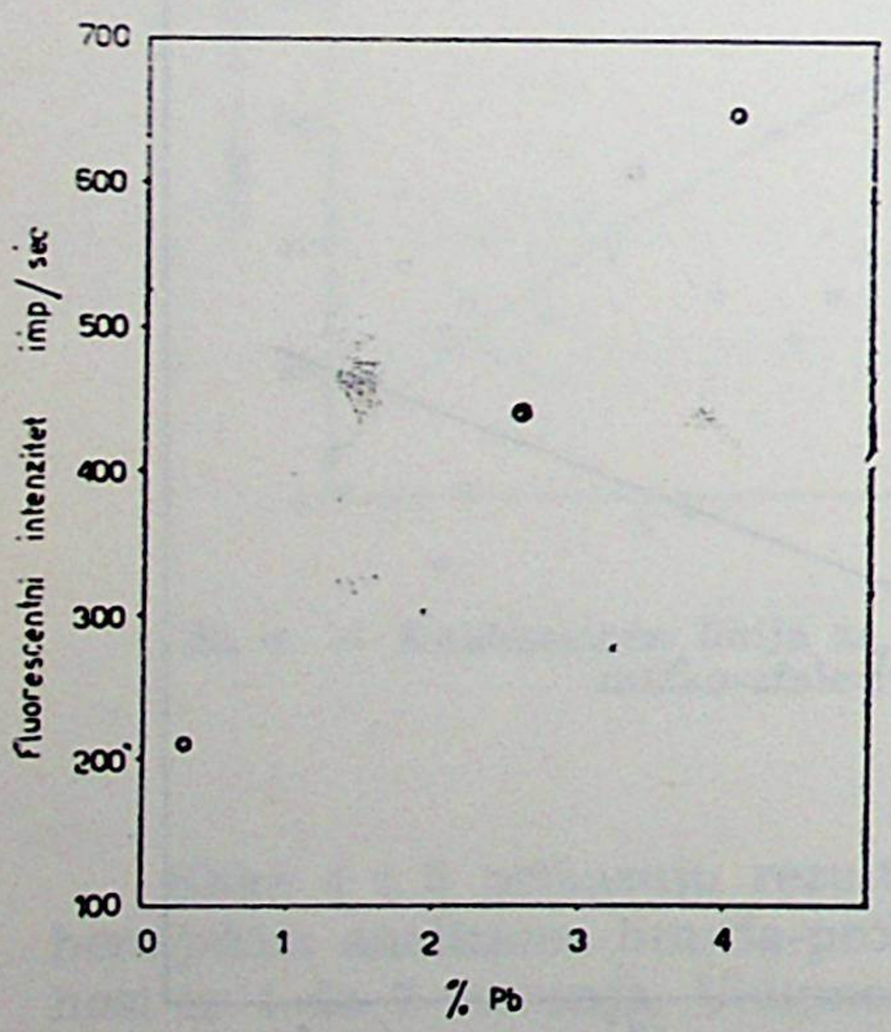
Sl. 5. — Kalibraciona linija za merenja cinka na brazda-probama galenitsko-sfaleritske žice u Blizancima.

vanju rezultata. Teško je izvršiti direktna poređenja merenja in-situ i hemijskih analiza, jer površine merenja nisu uvek identične sa površinama sa kojih je uzet materijal za hemijske analize. Zbog toga, kod heterogenih materijala, se dobija nepovoljniji utisak o primeni ove tehnike nego što ona može stvarno da pruži.

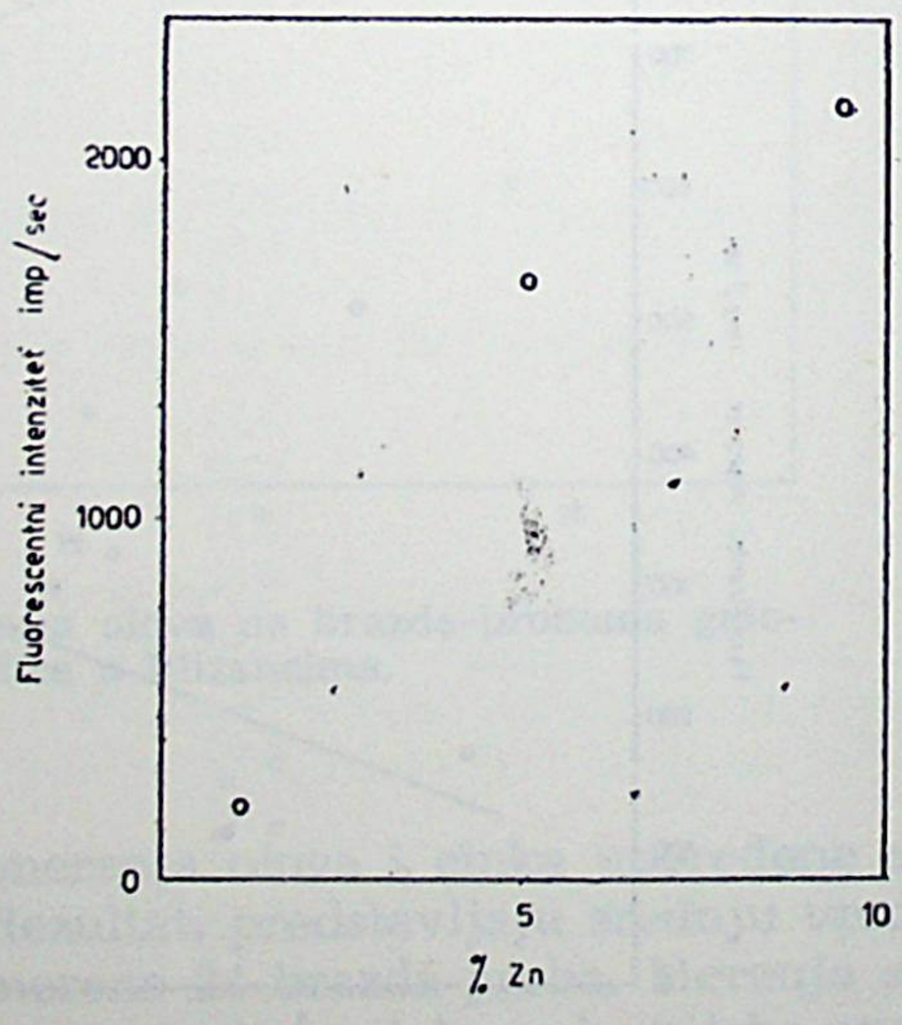
Rezultati merenja na brazdama raskopa R-5 u Šlegovu (sl. 6) jasno ilustruju primenu prenosnog analizatora u detaljnoj geološkoj prospek-



Sl. 6. — Varijacije fluorescentnog intenziteta olova i cinka na brazda-probama raskopa u Šlegovu.



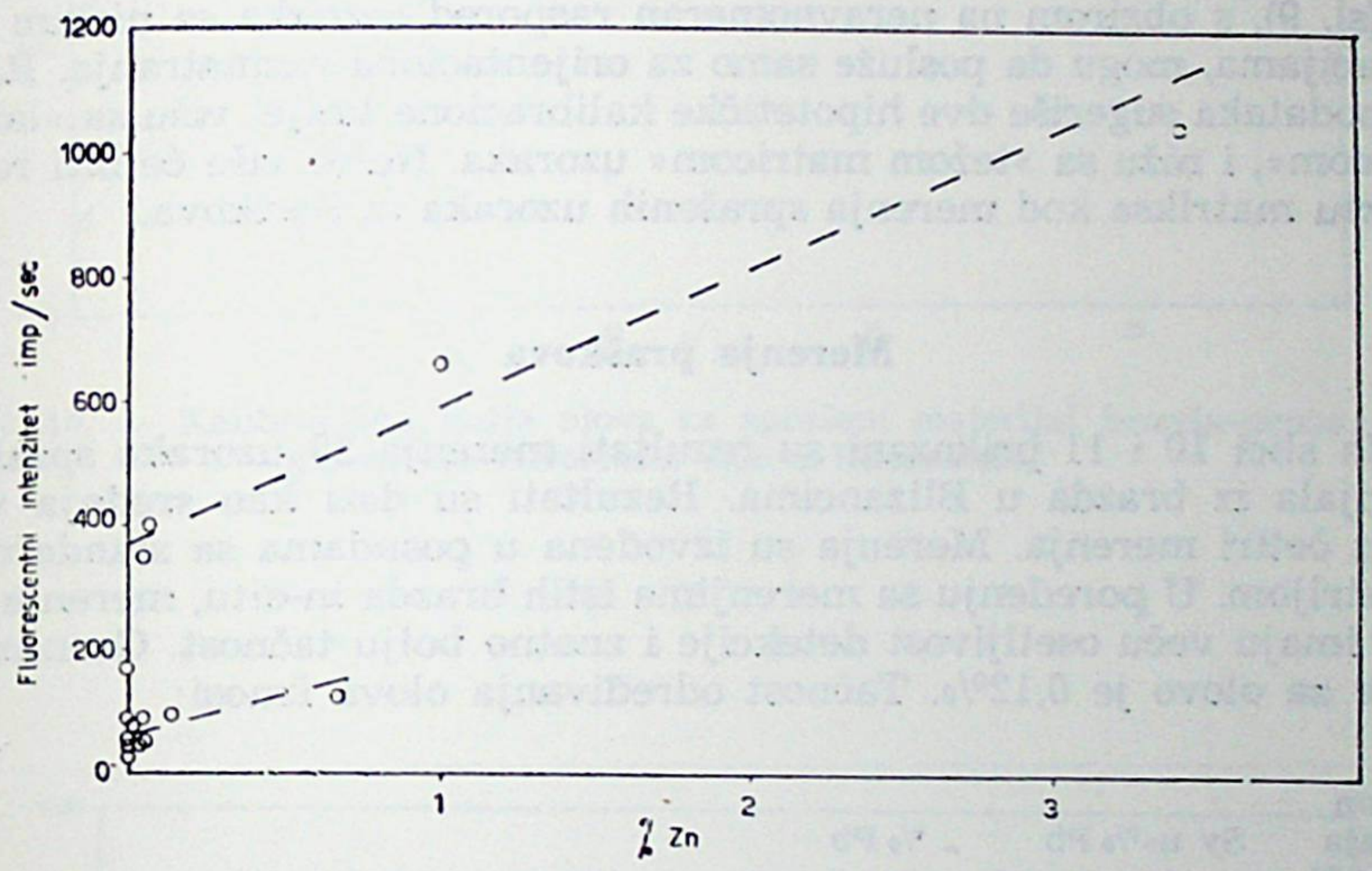
Sl. 7. — Srednja vrednost fluorescentnog intenziteta olova u zavisnosti od hemijskih analiza za merenja na brazda-probama raskopa u Šlegovu.



Sl. 8. — Srednja vrednost fluorescentnog intenziteta cinka u zavisnosti od hemijskih analiza za merenja na brazda-probama raskopa u Šlegovu.

ciji, gde se preko fluorescentnog intenziteta mogu pratiti distribucija i relativne vrednosti koncentracija olova i cinka. Na slikama 7 i 8 dati su rezultati poređenja srednjih vrednosti fluorescentnih intenziteta iz 2 do 7 merenja sa hemijskim analizama. Granica detekcije je oko 0,2% za olovo i oko 0,1% za cink.

Serija od 7 merenja na jednoj brazdi sa izračunavanjem sadržaja olova može da se uradi za oko 20 minuta. Za isti broj merenja, za sadržaj cinka, potrebno je isto toliko. Neposredna indikacija prisustva ili odsustva metala u jednoj tački može da se odredi iz jednog merenja za približno dva minuta.



Sl. 9. — Rezultati merenja fluorescentnog intenziteta cinka prikazani u zavisnosti od hemijskih analiza za komade ruda i stena Pb—Zn—Cu mineralizacije u Berikovu.

Hemijske analize uključuju niz operacija, kao što su, mlevenje materijala, rastvaranje, taloženje, razdvajanje elemenata, i obično ne mogu da se završe u istom danu. Ako se još doda transport materijala od radilišta do laboratorije, onda se vreme do dobijanja rezultata analiza znatno produžava.

Glavna preimućstva prenosnog analizatora su mogućnost direktnog određivanja sadržaja metala in-situ, brzina merenja i prilagodljivost raznim uslovima terenskih ispitivanja. Primena prenosnog analizatora može znatno da doprinese efikasnijem izvođenju rudarskih radova i detaljne geološko-geofizičke prospekcije. Direktnim određivanjem metala in-situ umanjuje se potreba za velikim brojem hemijskih analiza.

Sa Pb-Zn-Cu mineralizacije u Berikovu mereno je 17 komada ruda i stena. Na svakom uzorku su merene četiri površine. Srednje vrednosti ovih merenja su upoređivane sa hemijskim analizama.

Način pojavljivanja orudnjenja u Berikovu je veoma raznolik, od impregnacija do rudnih sočiva (11). Orudnjenje se javlja u raznovrsnim stenama: hloritošist, karbonatno-hloritski škriljac, gabro-dijabaz. Zastupljenost pojedinih metala u rudi takođe veoma varira. Najniže koncentracije ima olovo, do 1% (prema sadržaju ispitivanih uzoraka), zatim bakar do 3% i najviše koncentracije ima cink, do 18%. Ne postoji korelacija između sadržaja olova, bakra i cinka u rudi.

Uzimajući u obzir sve nabrojane uslove pojavljivanja orudnjenja u Berikovu, sasvim je opravdano veliko rasejavanje rezultata merenja olova na uzorcima u komadu kao i na sprašenom materijalu (rezultati nisu grafički prikazani).

Rezultati merenja fluorescentnog intenziteta cinka na istom materijalu (sl. 9), s obzirom na neravnomeran raspored uzoraka sa niskim koncentracijama, mogu da posluže samo za orijentaciona razmatranja. Raspodela podataka sugeriše dve hipotetičke kalibracione linije: višu sa »lakšom matricom«, i nižu sa »težom matricom« uzoraka. Nešto više će biti rečeno o efektu matriksa kod merenja sprašenih uzoraka iz Berikova.

Merenja praškova

Na slici 10 i 11 prikazani su rezultati merenja 29 uzoraka sprašenih materijala iz brazda u Blizancima. Rezultati su dati kao srednja vrednost iz četiri merenja. Merenja su izvođena u posudama sa standardnom geometrijom. U poređenju sa merenjima istih brazda in-situ, merenja praškova imaju veću osetljivost detekcije i znatno bolju tačnost. Granica detekcije za olovo je 0,12%. Tačnost određivanja olova iznosi:

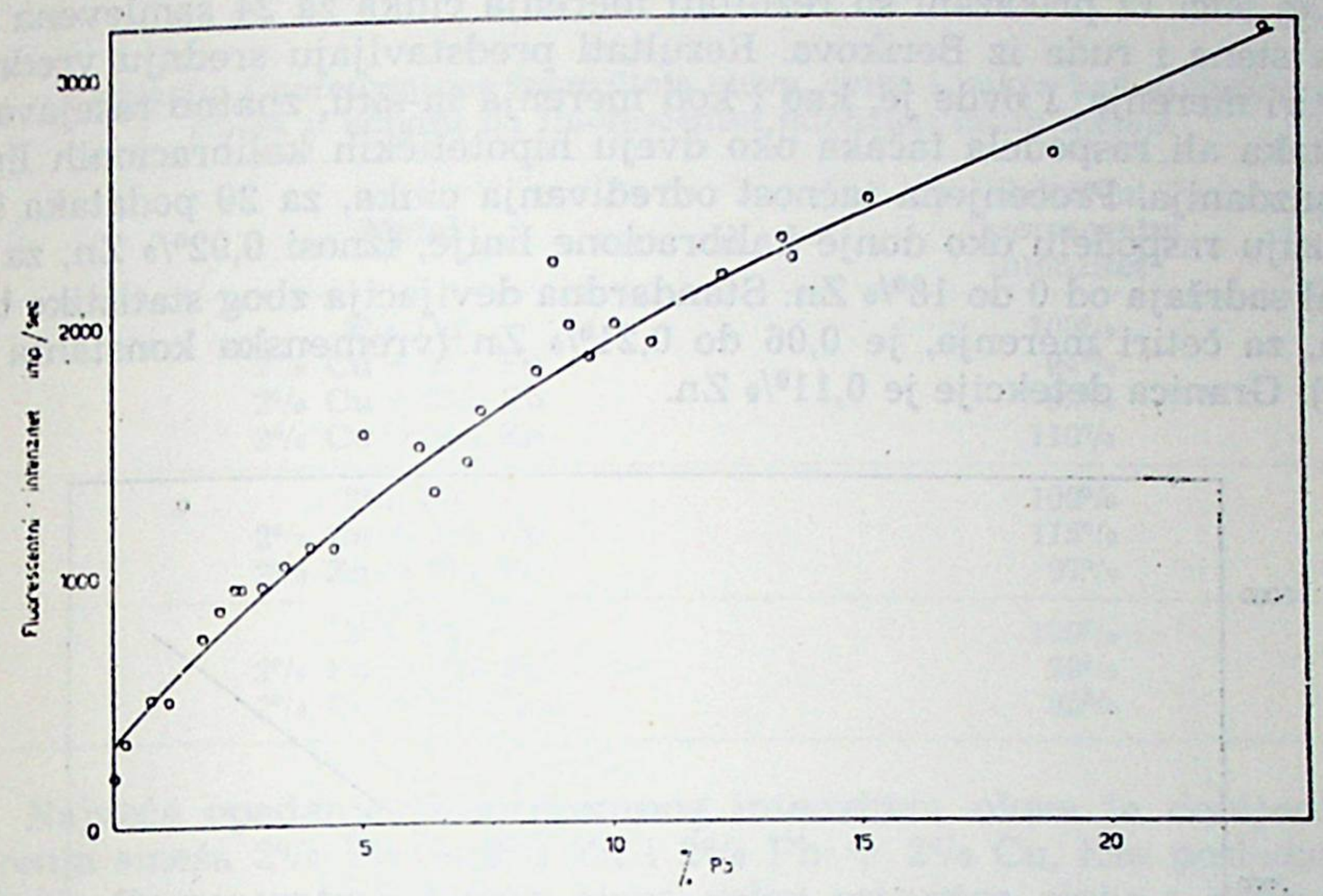
Raspon sadržaja olova u %	Sy u % Pb	Δ % Pb	
0— 3	0,30—0,40	0,06	(4 merenja, vremenska konstanta 4 i 1 sec)
3—10	0,40—0,60	0,28	„
10—23	0,60—0,90	0,37	„

Tačnost određivanja cinka, za interval sadržaja od 0,50 do 4,00% Zn, je 0,33% Zn; standardna devijacija zbog statistike brojanja iznosi 0,03 do 0,06% Zn (4 merenja, vremenska konstanta od 4 do 1 sec). Granica detekcije je 0,06% cinka.

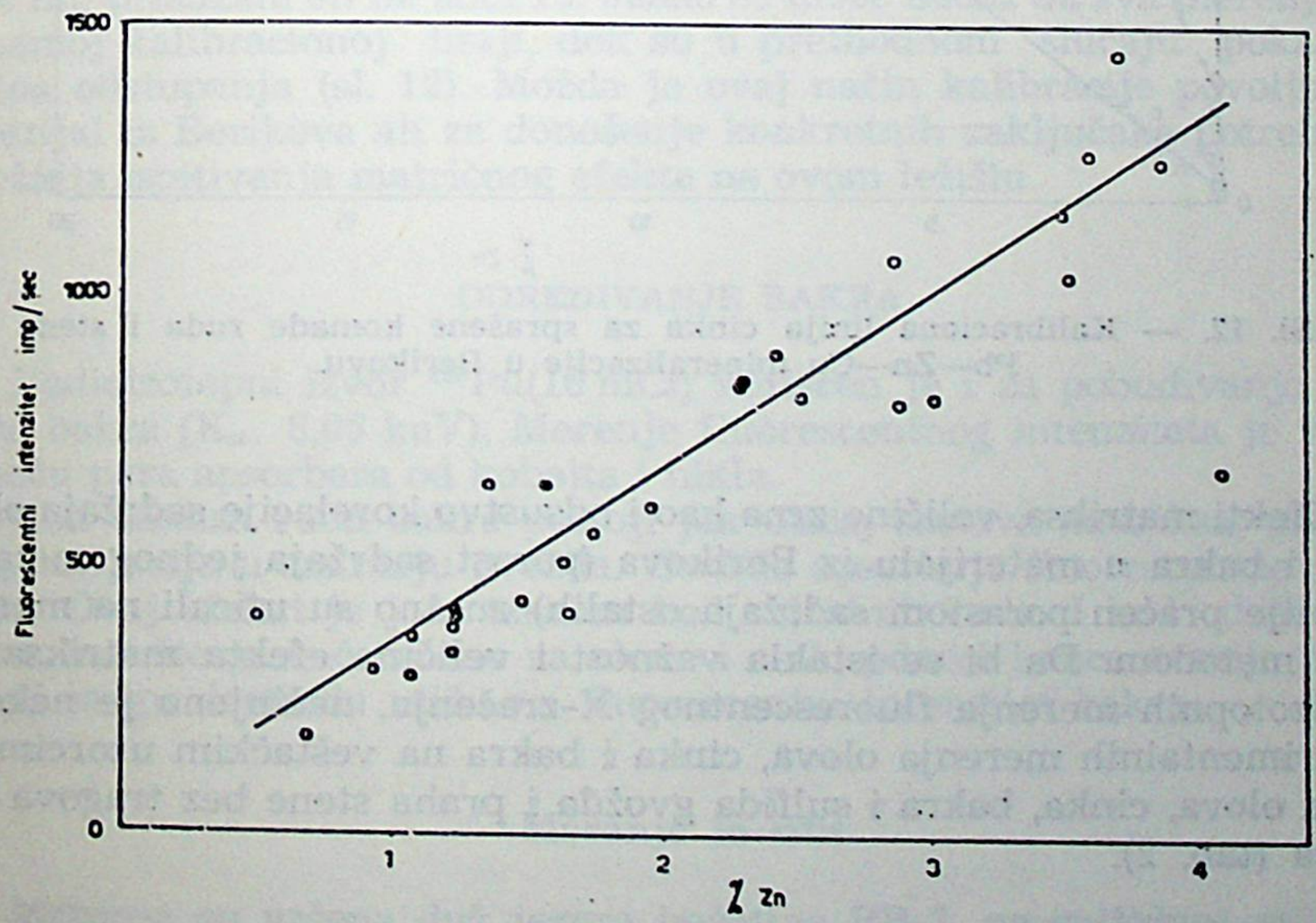
Mlevenjem geološkog materijala povećava se homogenost uzorka, raspodela rudnih minerala je pravilnija, što ima za posledicu znatno poboljšanje tačnosti i granica detekcije.

Korišćenjem dobijenih kalibracionih linija određen je sadržaj olova i cinka kod tri sprašena jezgra iz bušotina u okolini Kratova:

Uzorak	Hemijske analize Pb %	Prenosni analizator Pb %	Hemijske analize Zn %	Prenosni analizator Zn %
17185	0,74	0,75	3,40	3,54
264	2,20	2,70	1,04	1,03
133	—	oko 0	—	0,18

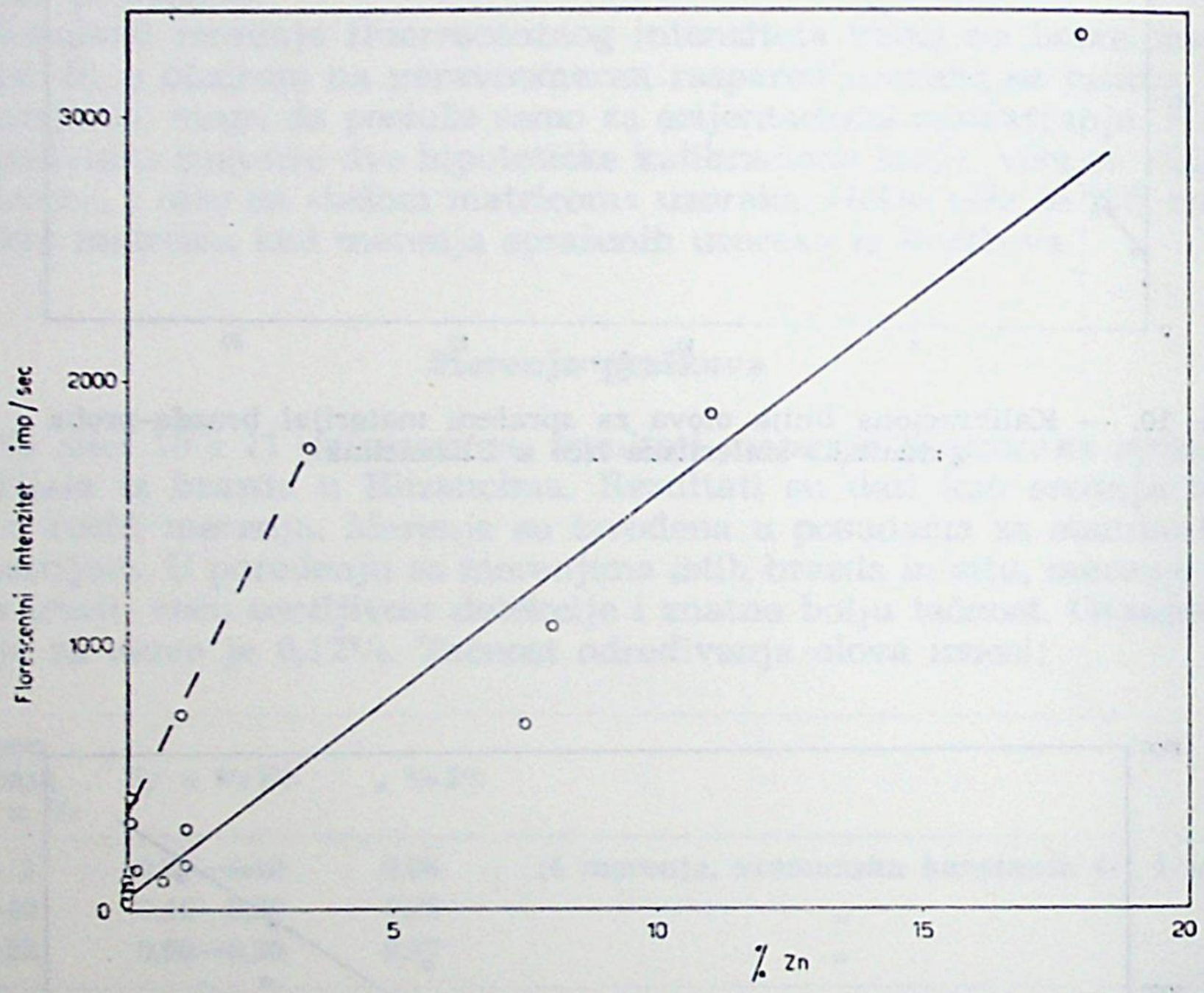


Sl. 10. — Kalibraciona linija olova za sprašeni materijal brazda-proba galenitsko-sfaleritske žice u Blizancima.



Sl. 11. — Kalibraciona linija cinka za sprašeni materijal brazda-proba galenitsko-sfaleritske žice u Blizancima.

Na slici 12 prikazani su rezultati merenja cinka za 24 samlevena komada stena i ruda iz Berikova. Rezultati predstavljaju srednju vrednost iz četiri merenja. I ovde je, kao i kod merenja in-situ, znatno rasejavanje podataka ali raspodela tačaka oko dveju hipotetičkih kalibracionih linija je pouzdanija. Procenjena tačnost određivanja cinka, za 20 podataka koji pokazuju raspodelu oko donje kalibracione linije, iznosi 0,92% Zn, za interval sadržaja od 0 do 18% Zn. Standardna devijacija zbog statistike brojanja, za četiri merenja, je 0,06 do 0,21% Zn (vremenska konstanta 4 i 1 sec). Granica detekcije je 0,11% Zn.



Sl. 12. — Kalibraciona linija cinka za sprašene komade ruda i stena Pb—Zn—Cu mineralizacije u Berikovu.

Efekti matriksa, veličine zrna kao i odsustvo korelacije sadržaja olova, cinka i bakra u materijalu iz Berikova (porast sadržaja jednog metala u rudi nije praćen porastom sadržaja ostalih) znatno su uticali na merenja ovom metodom. Da bi se istakla važnost i veličina efekta matriksa kod radioizotopnih merenja fluorescentnog X-zračenja, načinjeno je nekoliko eksperimentalnih merenja olova, cinka i bakra na veštačkim uzorcima od oksida olova, cinka, bakra i sulfida gvožđa i praha stene bez tragova ovih metala (tab. 2).

Tabela 2

Varijacije fluorescentnog intenziteta olova, cinka i bakra kod veštačkih smeša u odnosu na fluorescentni intenzitet čistih metala

Metal	Relativni fluorescentni intenzitet
2% Cu	100%
2% Cu + 2% Fe	94%
2% Cu + 2% Pb	99%
2% Cu + 2% Zn	110%
2% Zn	100%
2% Zn + 2% Cu	115%
2% Zn + 2% Pb	97%
2% Pb	100%
2% Pb + 2% Zn	78%
2% Pb + 2% Cu	85%

Najveće opadanje fluorescentnog intenziteta olova je dobijeno kod merenja smeša 2% Pb + 2% Zn i 2% Pb + 2% Cu, kao posledica apsorpcije fluorescentnih fotona olova usled prisustva cinka i bakra. Kod smeša 2% Zn + 2% Cu i 2% Cu + 2% Zn međusobni uticaj ova dva elementa dovodi do povećanja njihovih fluorescentnih intenziteta. Međutim, kod sulfidnih ruda, uticaj sastava matriksa može da bude još intenzivniji.

Da bi se efekat matriksa eliminsao kod uzoraka iz Berikova, pokušalo se da se za kalibracionu liniju uzimaju odnosi fluorescentnog zračenja prema zračenju fona kroz apsorber od nikla, u zavisnosti od sadržaja cinka. Rezultati ovakve kalibracije, za četiri uzorka sa sadržajem od 5 do 18% Zn, prikazani su na slici 13. Jasno se može uočiti da sva merenja leže na samoj kalibracionoj liniji, dok su u prethodnom slučaju pokazivala znatna odstupanja (sl. 12). Možda je ovaj način kalibracije povoljniji za materijal iz Berikova ali za donošenje konkretnih zaključaka potrebna su opsežnija ispitivanja matričnog efekta na ovom ležištu.

ODREĐIVANJE BAKRA

Radioizotopni izvor ^{238}Pu(10 mCi) korišćen je i za pobuđivanje K X-zraka bakra (K_α 8,05 keV). Merenje fluorescentnog intenziteta je vršeno pomoću para apsorbera od kobalta i nikla.

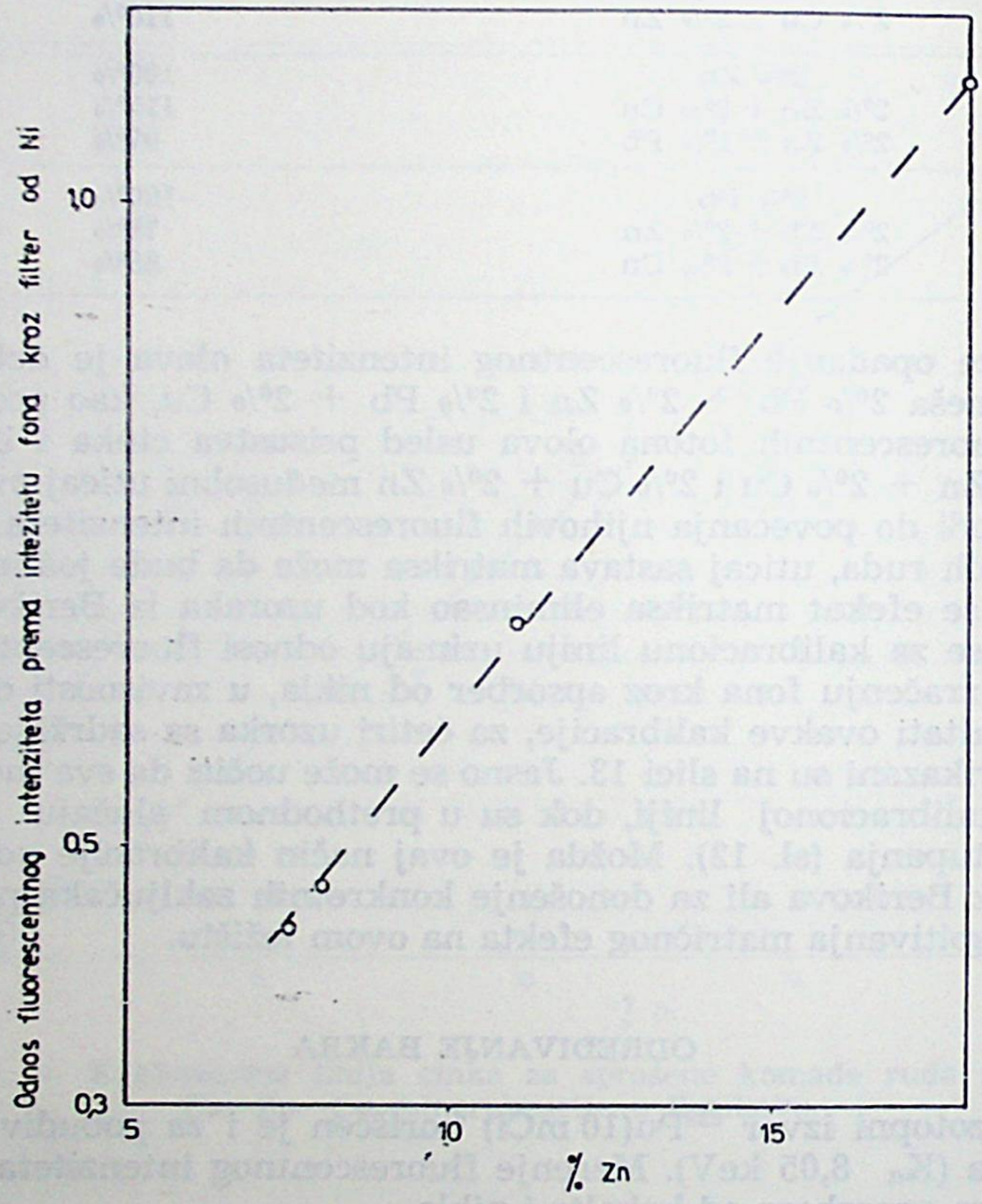
Kod analiza ruda bakra postoji jak uticaj sastava matriksa, pretežno zbog varijacija u sadržaju gvožđa. Gvožđe apsorbuje fluorescentne fotone bakra. Ovaj efekat je jače izražen kod sulfidnih ruda. I kod određivanja bakra, kao što je već rečeno za olovo i cink, odnosi koncentracija metala u rudi mogu dosta da utiču na fluorescentni intenzitet bakra.

Merenje in-situ

Merenja su vršena duž jezgra bušotine RB-7, na sulfidnoj mineralizaciji bakra i gvožđa u Kosjeriću. Rudni minerali, pirit i halkopirit, najčešće se javljaju u obliku vrlo sitnih mineralnih zrna, koja u vidu impre-

gnacija prožimaju hidrotermalno izmenjeni dijabaz (12). Pored impregnacija mogu se javljati u obliku sitnih žilica, sočiva i »mlazeva«.

Jezgra prečnika 76 mm, dobijena istražnim bušenjem, bila su izlomljena i sa različitim procentom gubitka. To je uslovilo da broj merenja, za određene intervale oprobavanja jezgra od 2 m dužine, varira od 3 do 19. Merena su jezgra iz 10 oprobavanih intervala. Na slici 14 prikazani su rezultati merenja (srednje vrednosti) u zavisnosti od hemijskih analiza.

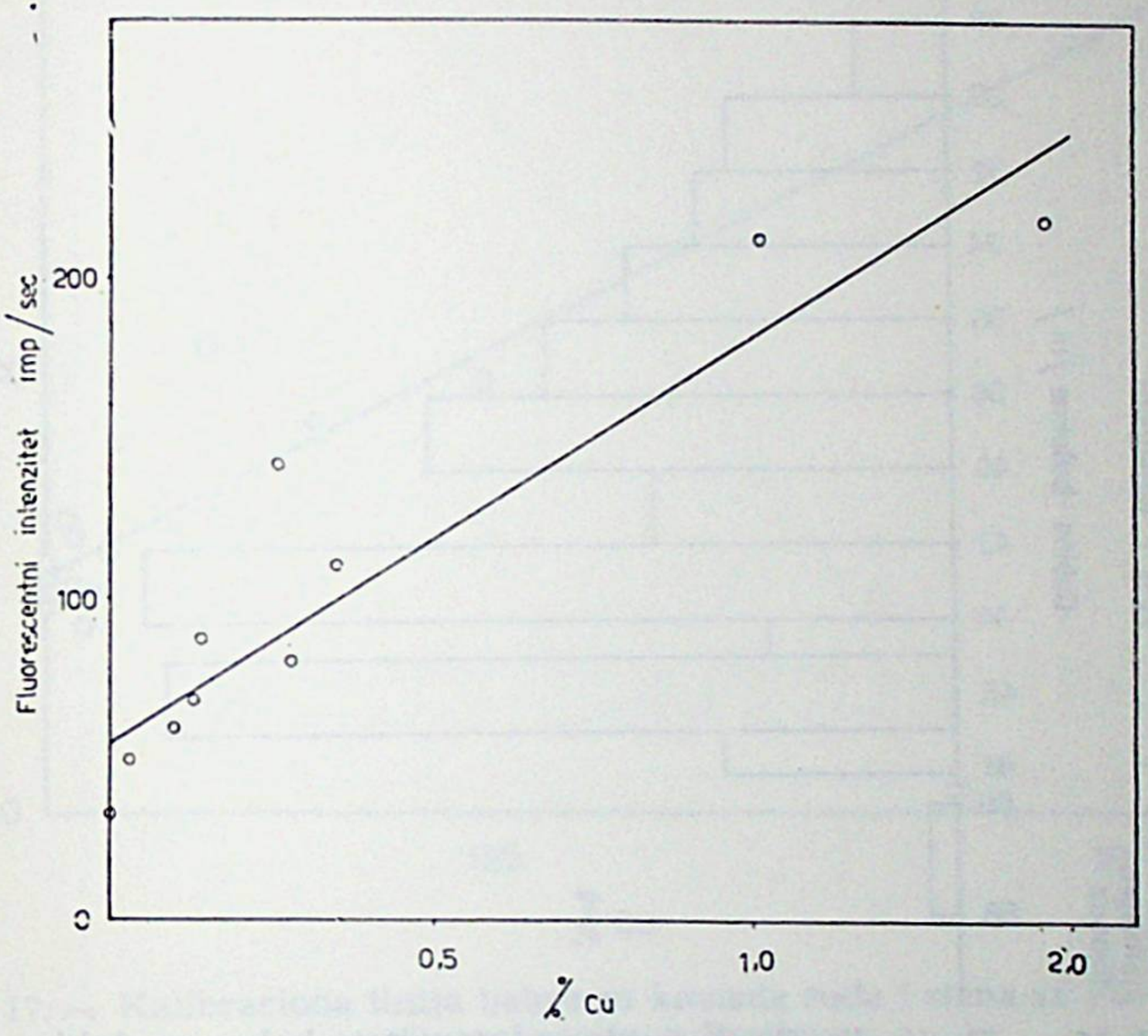


Sl. 13. — Korekcija za efekat matriksa.

Tačnost određivanja bakra, procenjena na osnovu ovih rezultata, iznosi 0,17% Cu, za interval sadržaja od 0 do 1,5% Cu. Standardna devijacija zbog statistike brojanja je 0,06% Cu (vremenska konstanta 4 sec). Granica detekcije je 0,12% Cu.

Nekoliko eksperimentalnih merenja na raskopu »gvozdenog šešira«, u blizini ove bušotine, pokazala su visok intenzitet fona (čitanje sa apsorberom od kobalta) u odnosu na fluorescentni intenzitet (razlika čitanja sa apsorberima od kobalta i nikla), usled visokog sadržaja gvožđa prema sa-

držaju bakra (0,04 do 0,19% Cu). Zbog toga je potrebno konstruisati posebnu kalibracionu liniju za merenja bakra u ovakvim uslovima. Prilikom merenja korisno je pratiti promene intenziteta fona, jer one ukazuju na varijacije sadržaja gvožđa, čiji se K X-zraci takođe pobuđuju zračenjem iz radioaktivnog izvora ^{238}Pu.

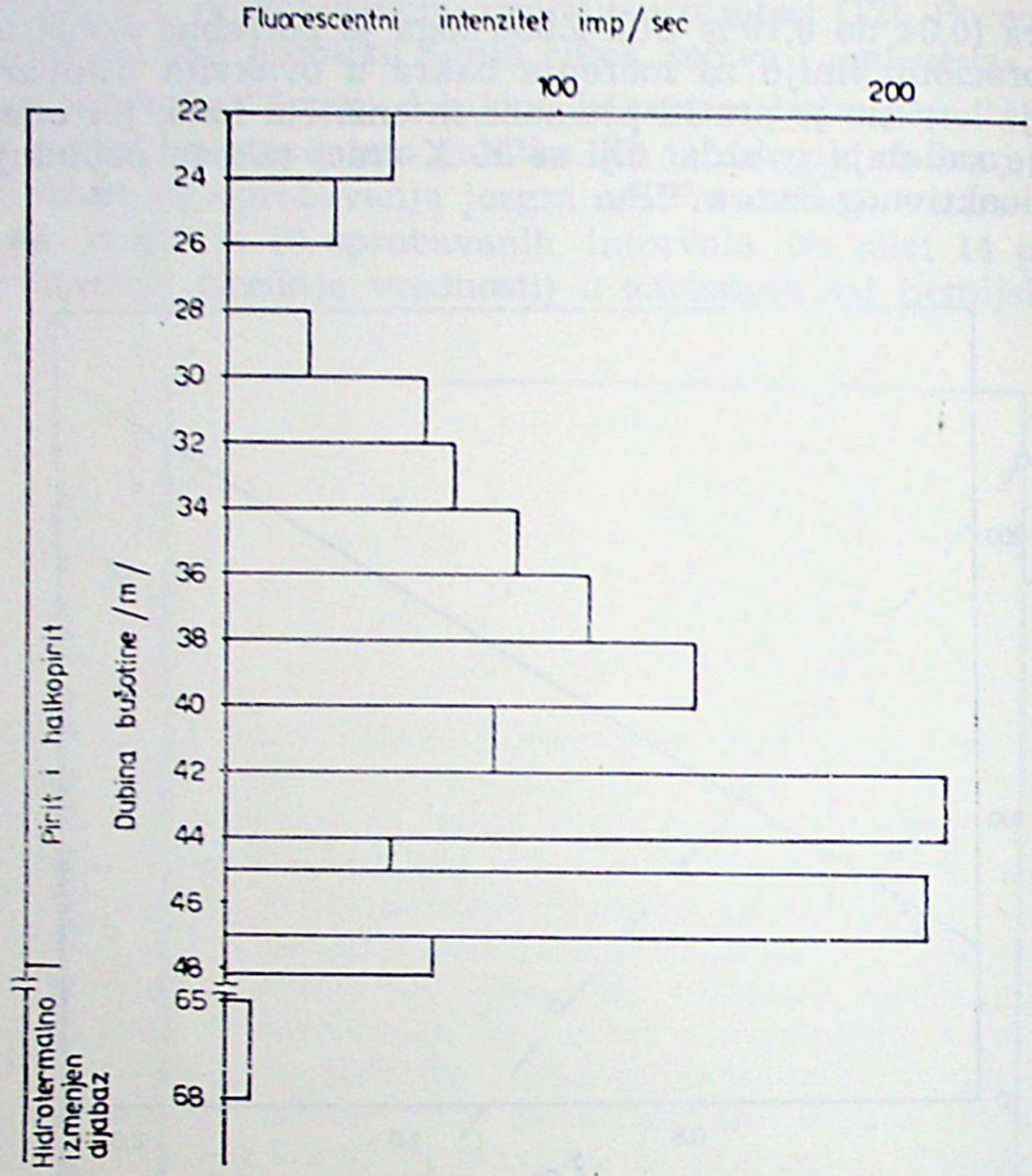


Sl. 14. — Kalibraciona linija bakra za jezgra sa halkopiritske mineralizacije impregnacionog tipa u Kosjeriću.

Rezultati merenja jezgra mogu se prikazati i u obliku histograma (sl. 15). Na ovaj način se, preko promena fluorescentnog intenziteta, mogu pratiti varijacije u koncentraciji bakra sa dubinom mineralizovane zone. Merenja jezgra predstavljaju jednu vrstu karotaža na bakar, koja se razlikuje od klasičnog karotaža samo u načinu izvođenja merenja tj. merenja se vrše direktno na jezgru. Konstrukcija sonde-detektora za karotaž nije nerešiv problem. Ali primena takvog uređaja bi bila ograničena samo na plitka bušenja iz potkopa, jer bi uticaj isplake bio veliki zbog male dubine prodiranja karakterističnih X-zračenja.

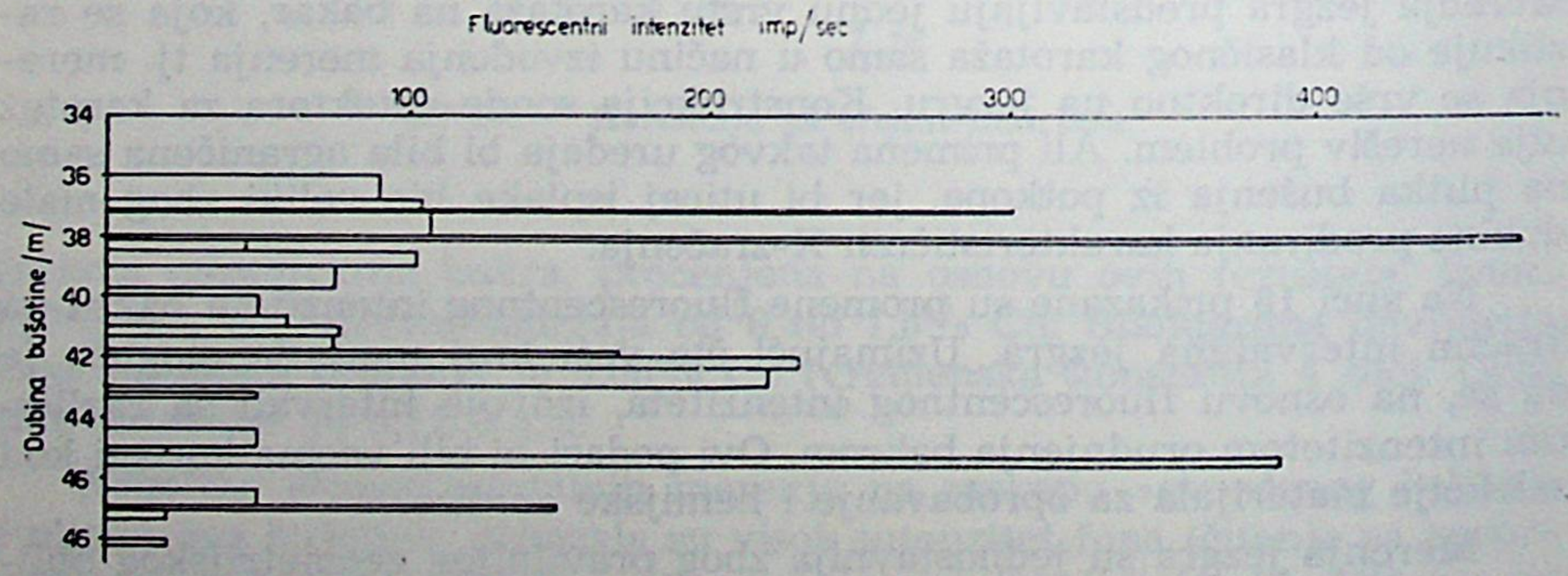
Na slici 16 prikazane su promene fluorescentnog intenziteta bakra na kraćim intervalima jezgra. Uzimajući što veći broj merenja moguće je da se, na osnovu fluorescentnog intenziteta, izdvoje intervali sa različitim intenzitetom orudnjenja baknom. Ovi podaci bi bili veoma korisni kod selekcije materijala za oprobavanje i hemijske analize.

Merenja jezgra su jednostavnija zbog pravilnijeg geometrijskog oblika. Površina je obla i glatka ukoliko jezgra nisu izlomljena u procesu bušenja.



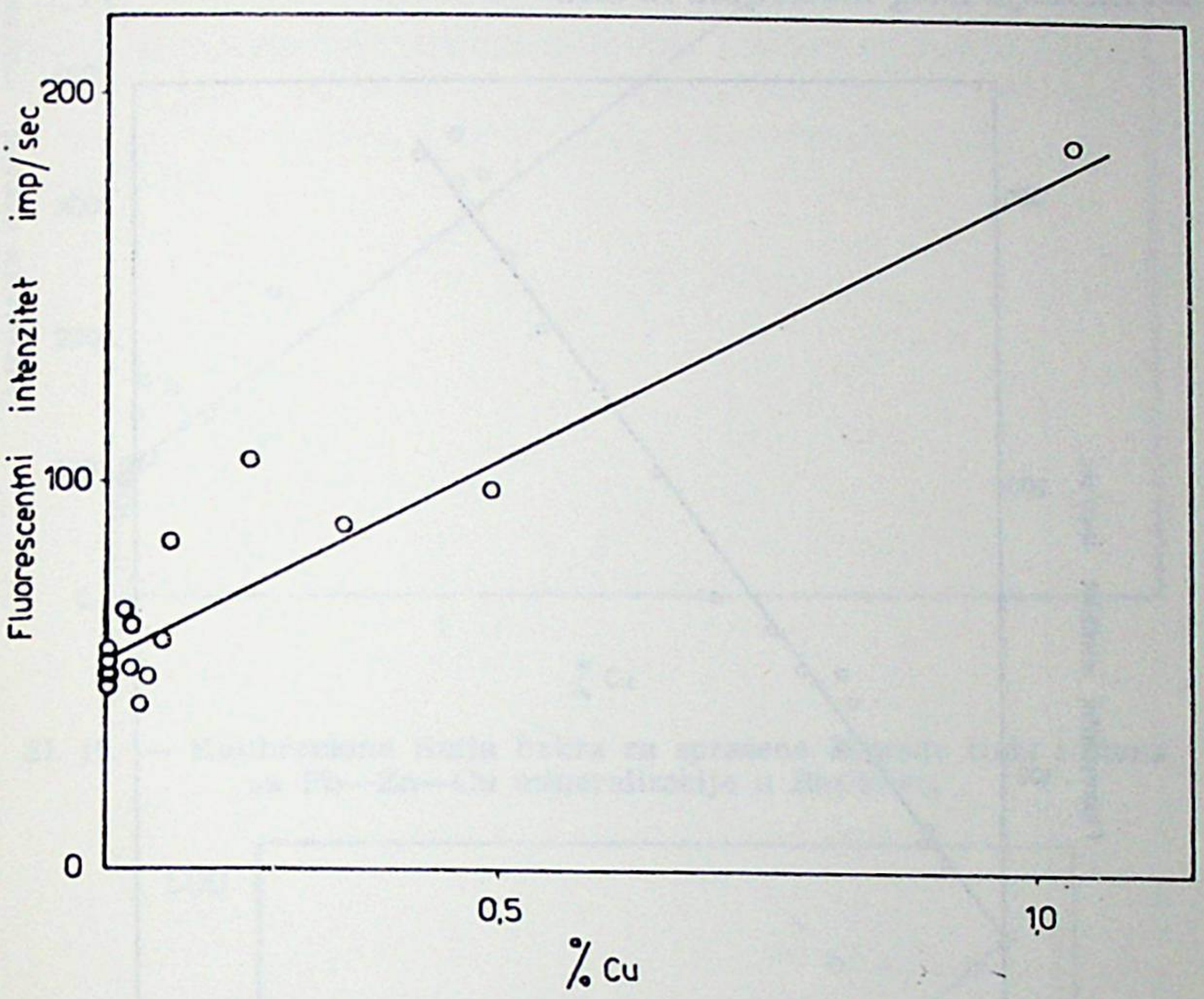
Sl. 15. — Varijacije fluorescentnog intenziteta bakra sa dubinom bušotine RB-7 u Kosjeriću.

Primena prenosnog analizatora je znatno povoljnija kod mineralizacije bakra u obliku finih impregnacija u Kosjeriću, nego kod Pb—Zn mineralizacije žičnog tipa u Blizancima, zbog homogenijeg rasporeda rudnih minerala. Dobijena je dovoljna osetljivost detekcije i tačnost za direktna



Sl. 16. — Varijacije fluorescentnog intenziteta bakra sa dubinom bušotine Rb-7 u Kosjeriću.

merenja bakra in-situ. Sve do konstrukcije ovog instrumenta, nijednom drugom tehnikom se nisu mogle dobiti neposredne indikacije o prisustvu rudnih minerala, ukoliko ovi nisu bili vidljivi golim okom.



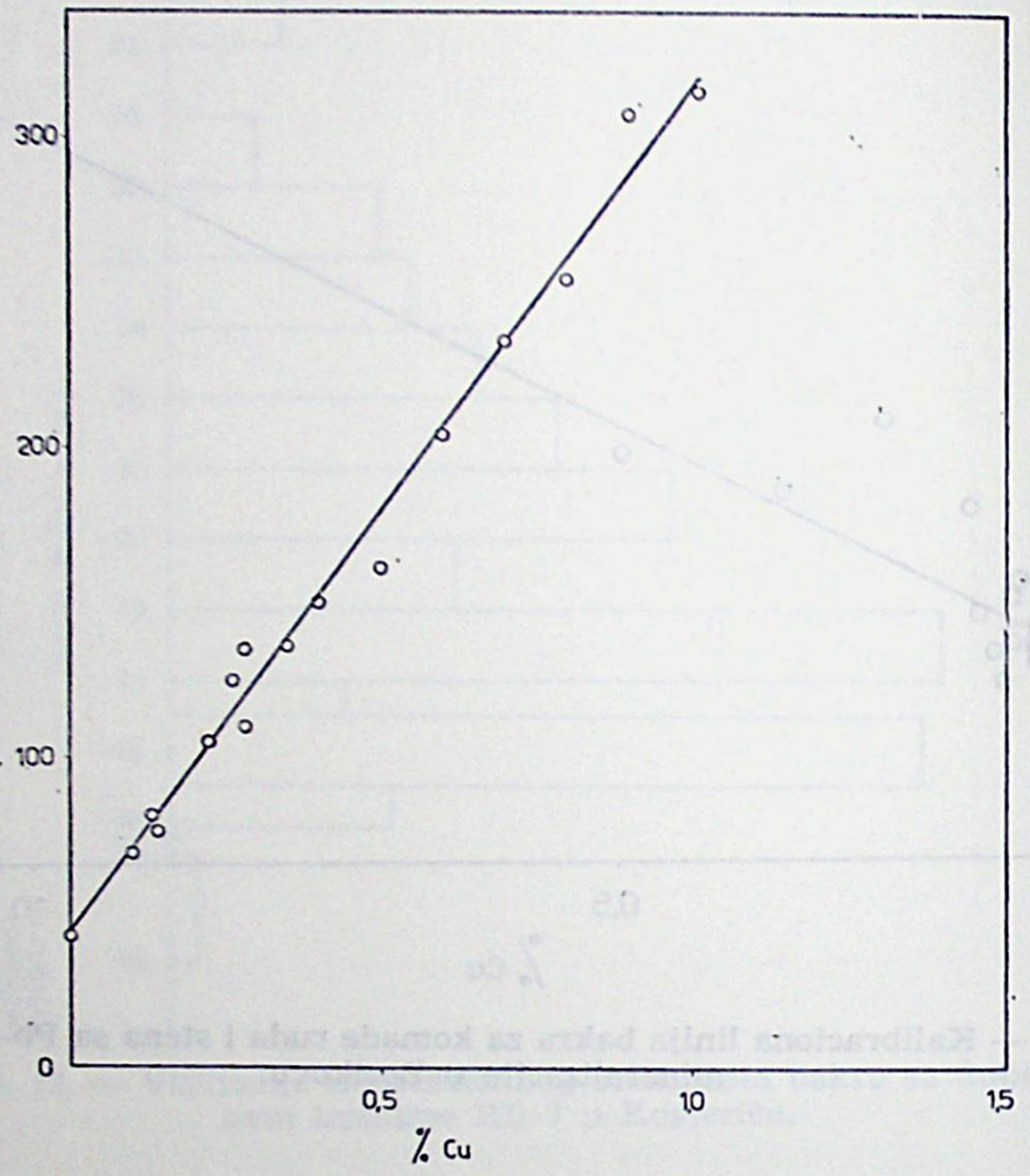
Sl. 17. — Kalibraciona linija bakra za komade ruda i stena sa Pb—Zn—Cu mineralizacije u Berikovu.

Rezultati merenja 17 komada stena i ruda sa Pb-Zn-Cu mineralizacije u Berikovu predstavljeni su na slici 17 (srednje vrednosti iz 4 merenja). Ukoliko se može reći zbog neravnomernog rasporeda podataka duž ispitivanog raspona sadržaja, određivanje bakra je nešto povoljnije od određivanja cinka za isto orudnjenje. Sračunata tačnost na bazi ovih rezultata je 0,10% Cu, za interval koncentracija od 0 do 1% Cu. Standardna devijacija zbog statistike brojanja je 0,06 do 0,10% Cu (vremenska konstanta 4 sec). Granica detekcije je 0,12% Cu.

Merenje praškova

Slika 18 sadrži rezultate merenja 10 samlevenih jezgara, dužine 2 m, sa mineralizacije bakra u Kosjeriću, i 6 veštačkih uzoraka dobijenih razblaživanjem uzorka od 1% Cu. Rezultati predstavljaju srednje vrednosti iz 4 merenja. Na osnovu ovih merenja je dobijena tačnost od 0,04% Cu za

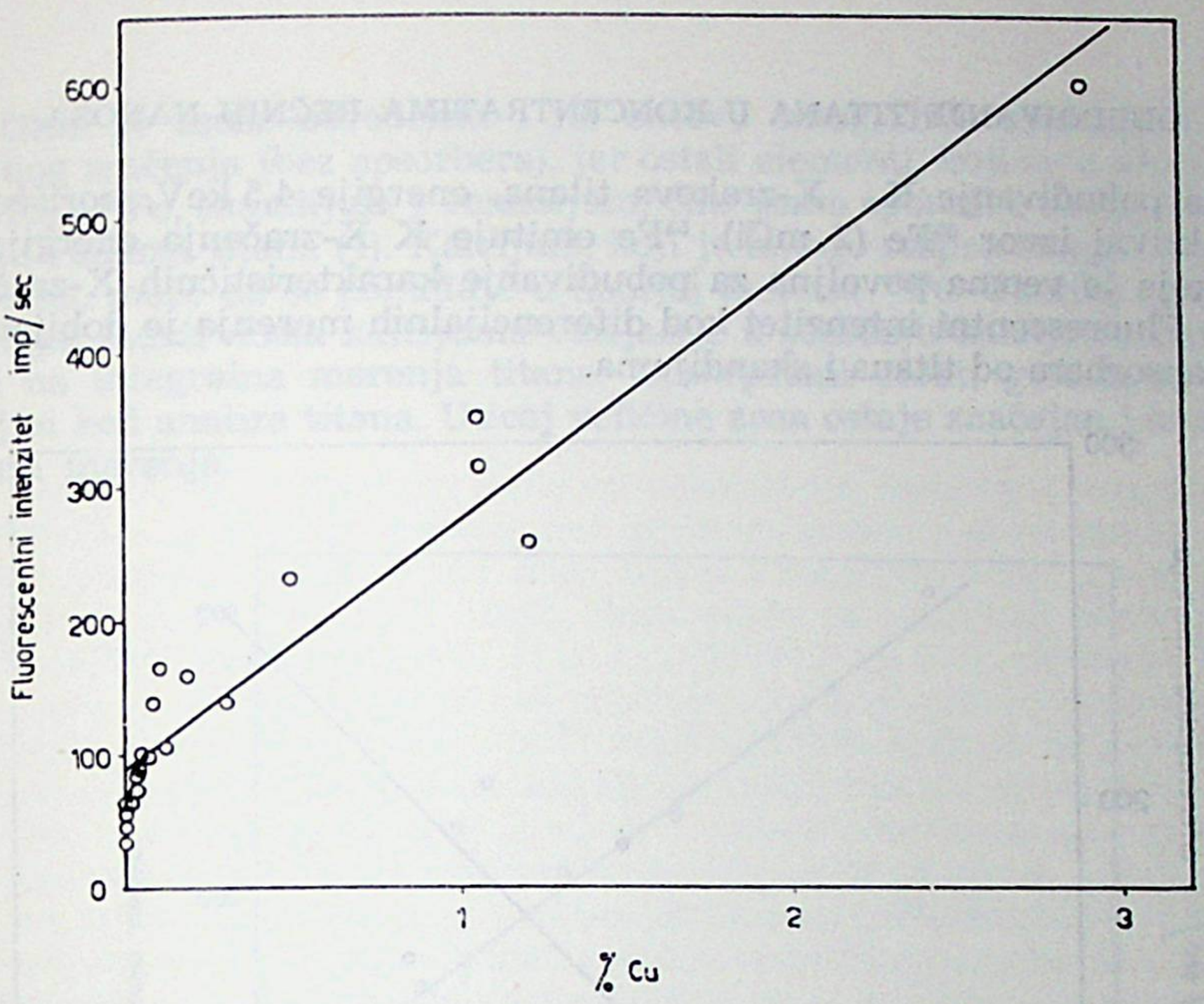
interval sadržaja od 0 do 1% Cu. Standardna devijacija zbog statistike brojanja iznosi 0,04% Cu (vremenska konstanta 4 sec). Granica detekcije je 0,08% Cu. I u ovom slučaju, kao i kod određivanja olova i cinka, merenja sprašenih materijala pokazuju mnogo bolju tačnost (oko 4 puta) u odnosu na merenja istog materijala in-situ.



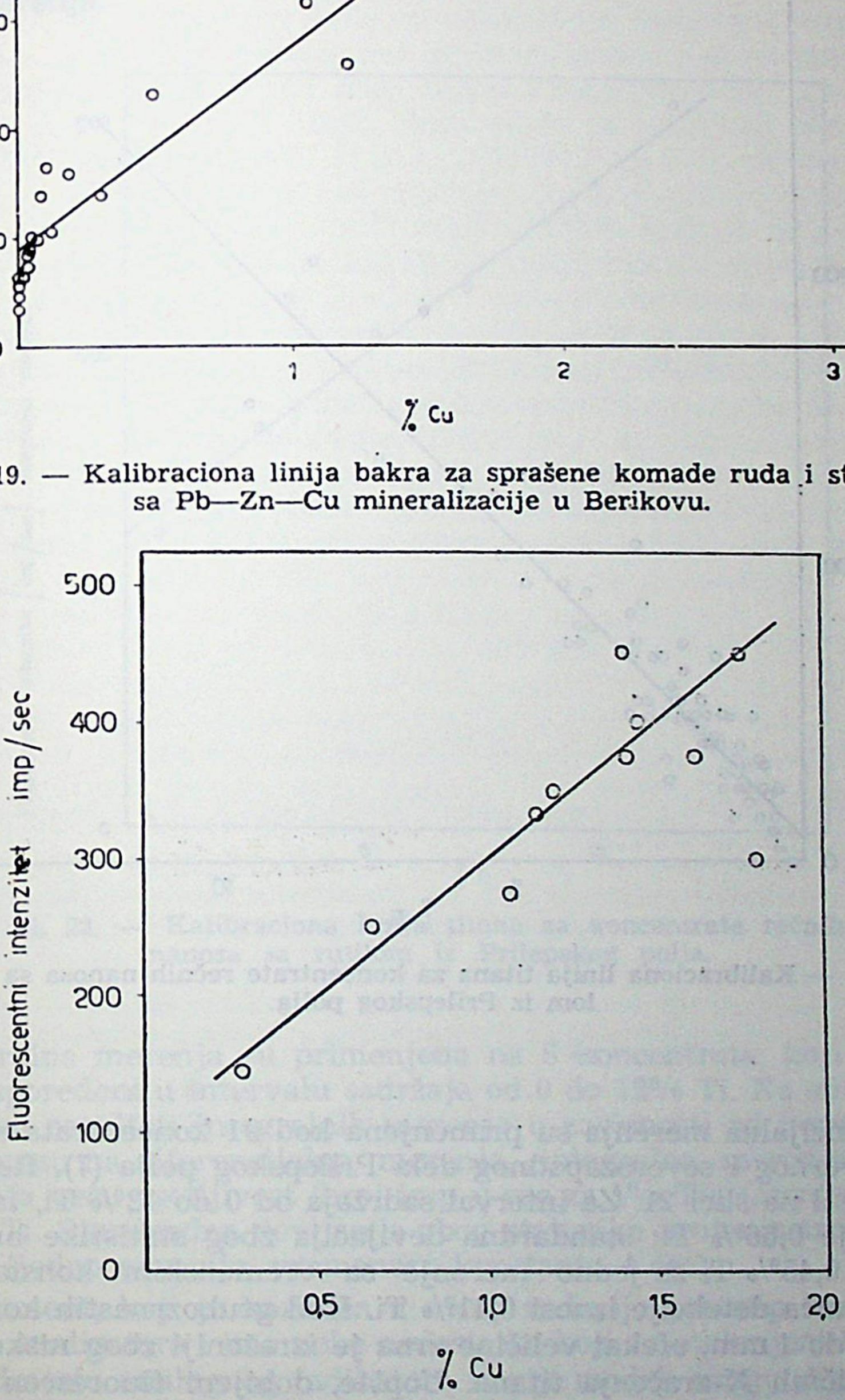
Sl. 18. — Kalibraciona linija bakra za sprašena jezgra halkopiritske mineralizacije u Kosjeriću.

Međutim, rezultati merenja (srednje iz 4 merenja) za 24 samlevena komada ruda i stena iz Berikova (sl. 19) ne pokazuju izrazito povećanje tačnosti u odnosu na merenja in-situ. Za interval sadržaja od 0 do 3% Cu tačnost je 0,12% Cu, standardna devijacija zbog statistike brojanja iznosi 0,05% Cu (vremenska konstanta 4 i 1 sec) a granica detekcije je 0,09% Cu. Svi problemi, koji proističu iz efekta matriksa i međusobnog odnosa koncentracija olova, cinka i bakra, odražavaju se i kod merenja samlevenih uzoraka.

Rezultati merenja za 11 uzoraka sa porfirskog ležišta u Majdanpeku su prikazani na slici 20. Ležište je impregnacionog tipa sa piritom i halkopiritom (1). Za interval sadržaja od 0,3 do 2% Cu, tačnost 0,15% Cu, standardna devijacija zbog statistike brojanja je 0,07% Cu (vremenska konstanta 4 sec) a granica detekcije je oko 0,14%.



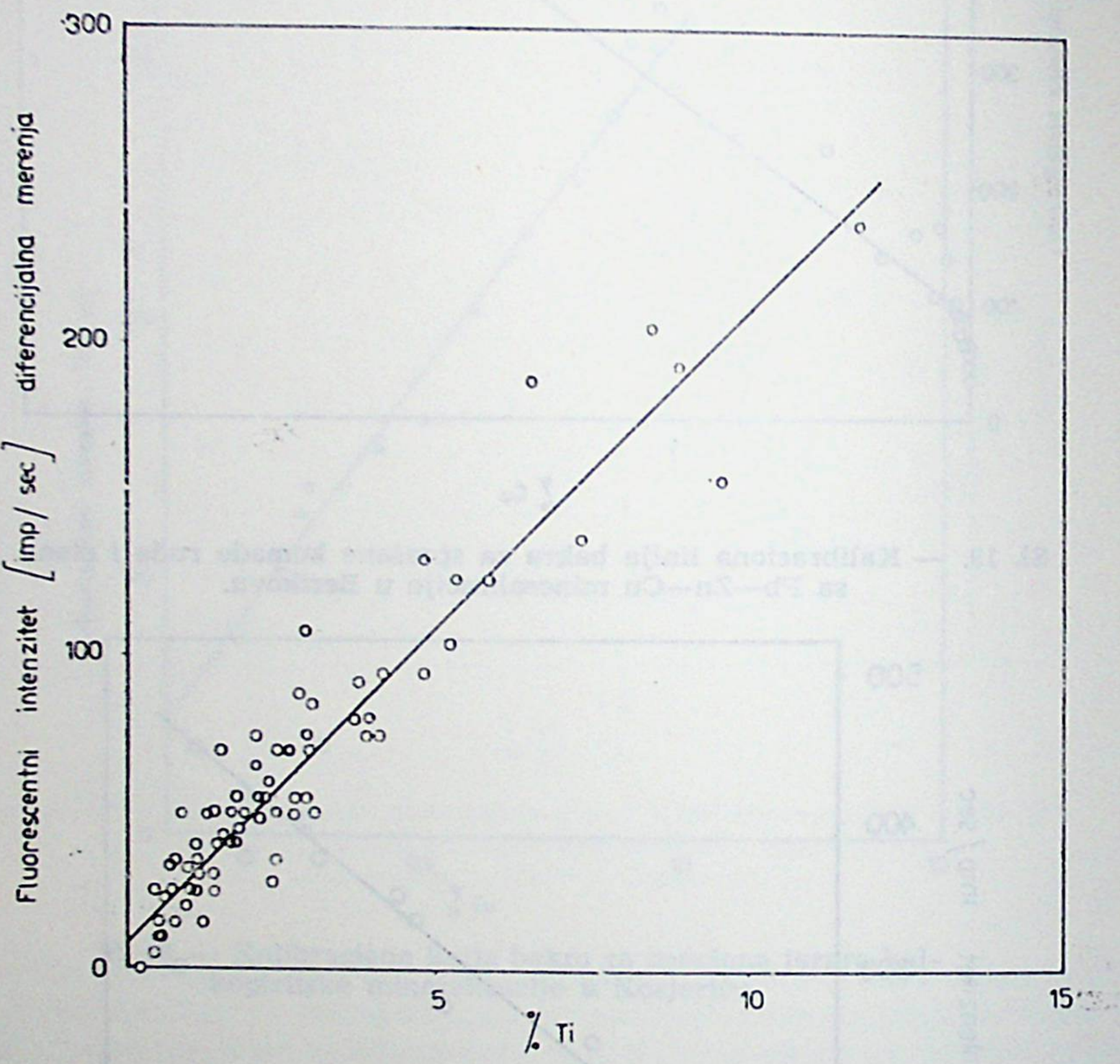
Sl. 19. — Kalibraciona linija bakra za sprašene komade ruda i stena sa Pb—Zn—Cu mineralizacije u Berikovu.



Sl. 20. — Kalibraciona linija bakra za sprašene uzorke sa porfirskog ležišta bakra u Majdanpeku.

ODREĐIVANJE TITANA U KONCENTRATIMA REČNIH NANOSA

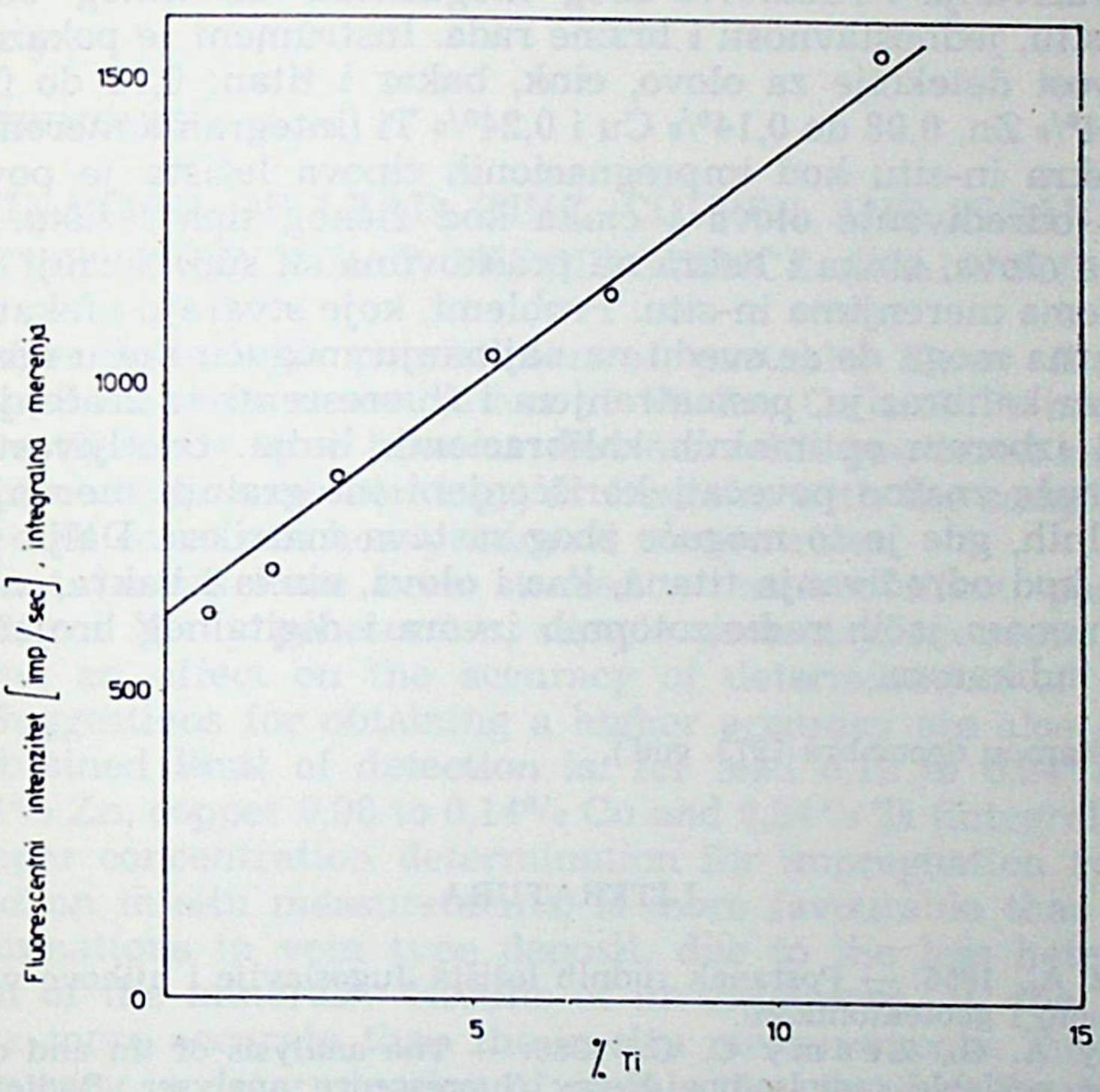
Za pobuđivanje K_α X-zrakova titana, energije 4,5 keV, korišćen je radioaktivni izvor ^{55}Fe (2 mCi). ^{55}Fe emituje K X-zračenja energije 5,9 keV, koja je veoma povoljna za pobuđivanje karakterističnih X-zračenja titana. Fluorescentni intenzitet kod diferencijalnih merenja je dobijen pomoću apsorbera od titana i skandijuma.



Sl. 21. — Kalibraciona linija titana za koncentrate rečnih nanosa sa rutilom iz Prilepskog polja.

Diferencijalna merenja su primenjena kod 91 koncentrata rečnih nanosa iz severnog i severozapadnog dela Prilepskog polja (7). Rezultati su predstavljeni na slici 21. Za interval sadržaja od 0 do 12% Ti, tačnost određivanja je 0,66% Ti; standardna devijacija zbog statistike brojanja je od 0,21 do 0,45% Ti za jedno merenje sa vremenskim konstantom od 10 sec. Granica detekcije iznosi 0,41% Ti. Kod grubozrnastih koncentrata, prečnika i do 1 mm, efekat veličine zrna je izraženiji zbog niske energije karakterističnih X-zračenja titana. Uopšte, dobijeni fluorescentni intenzitet je dosta nizak i varijacije zbog statistike brojanja imaju znatan udeo u rasejavanju podataka.

Titan se može određivati i na osnovu integralnih merenja fluorescentnog zračenja (bez apsorbera), jer ostali elementi, koji se u većoj meri pobuđuju ^{55}Fe, skandijum i vanadijum, čine samo sporedne sastojke u stenama i rudama titana (4). Kalcijum, koji je mnogo rasprostranjeniji sastojak stena, može da se pobuđuje u manjoj meri sa ^{55}Fe. Ukoliko ispitivani materijal sadrži dosta kalcijuma varijacije u sadržaju kalcijuma mogu da utiču na integralna merenja titana. Apsorpcioni efekti gvožđa su zanemarljivi kod analiza titana. Uticaj veličine zrna ostaje značajan i kod integralnih merenja.



Sl. 22. — Kalibraciona linija titana za koncentrate rečnih nanosa sa rutilom iz Prilepskog polja.

Integralna merenja su primenjena na 6 koncentrata, koji su ravnomerno raspoređeni u intervalu sadržaja od 0 do 12% Ti. Na slici 22 predstavljeni su rezultati integralnih merenja u zavisnosti od hemijskih analiza. U odnosu na diferencijalna merenja, integralna merenja pokazuju oko tri puta veću osetljivost (broj imp u sec za 1% Ti). Granica detekcije je 0,24% Ti. Standardna devijacija zbog statistike brojanja iznosi 0,12 do 0,20% Ti (jedno merenje, vremenska konstanta 4 sec).

Instrument, koji je korišćen u ovom radu, je prototip komercijalnih prenosnih analizatora i ima neke nedostatke koji su otklonjeni kod novijih modela. Umesto analognog indikatora noviji modeli imaju digitalni indikator. Modeli sa digitalnim predstavljanjem podataka merenja imaju mogućnost biranja dužine vremena merenja, zbog čega se materijali sa ni-

skim sadržajem metala mogu meriti sa većom preciznošću. Takođe, noviji modeli sadrže radioaktivne izvore većeg intenziteta čime se još više povećava osetljivost i tačnost merenja. Korišćenjem ovih, novijih, modela prenosnih analizatora dobili bi se superiorniji rezultati kod određivanja titana, kao i ostalih elemenata, od ovih koji su izloženi ovde.

ZAKLJUČAK

Prenosni analizator predstavlja koristan instrument za geološko-geofizička istraživanja i rudarstvo zbog mogućnosti direktnog određivanja metala in-situ, jednostavnosti i brzine rada. Instrument je pokazao dovoljnu osetljivost detekcije za olovo, cink, bakar i titan: 0,12 do 0,34% Pb, 0,06 do 0,24% Zn, 0,08 do 0,14% Cu i 0,24% Ti (integralna merenja). Određivanje bakra in-situ kod impregnacionih tipova ležišta je povoljnije u odnosu na određivanje olova i cinka kod žičnog tipa ležišta. Rezultati određivanja olova, cinka i bakra na praškovima su superiorniji u pogledu tačnosti prema merenjima in-situ. Problemi, koje stvaraju efekat matriksa i veličine zrna mogu da se svedu na najmanju moguću meru odabiranjem standarda za kalibraciju, posmatranjem i fluorescentnog zračenja i zračenja fona, i izborom optimalnih kalibracionih linija. Osetljivost merenja titana se može znatno povećati korišćenjem integralnih merenja umesto diferencijalnih, gde je to moguće zbog sastava matriksa. Dalje povećanje osetljivosti kod određivanja titana, kao i olova, cinka i bakra, moglo bi se postići primenom jačih radioizotopnih izvora i digitalnog brojača umesto analognog indikatora.

(Predato za štampu decembra 1973. god.).

LITERATURA

1. Cissarz A., 1956: — Postanak rudnih ležišta Jugoslavije i njihove veze sa vulkanizmom i geotektonikom.
2. Darnley A. G., Leamy C. C., 1966: — The analysis of tin and copper ores using a portable radioisotope X-ray fluorescence analyser. Radioisotope Instruments in Industry and Geophsysics (Proc. Symp., Warsaw, 1965) I, IAEA, Vienna.
3. Florkowski T., Dzunikowski B., Kosiara A., Wasilewska M., 1964: — Analysis of iron, zinc and copper ores in the field and laboratory by fluorescence excited by $^{3}H/Zr$ Bremsstrahlung. Radiochemical method of analysis, IAEA, Vienna.
4. Gallagher M. J., 1967: — Determination of molybdenum, iron and titanium in ores and rocks by portable radioisotope X-ray fluorescence analyser. Trans. Inst. Min. Metall., 76.
5. Gojković S., Nedimović R., 1969: — Direktna određivanja nekih metala »in situ« pomoću prenosnog analizatora fluorescentnog X-zračenja. Radovi INGRI, Beograd.
6. Kuusi J., 1968: — Final report on project IAEA, Yug/03/3.
7. Markov C., 1969: — Istraživanje ležišta minerala titana na teritoriji opštine Prilep i njene bliže okoline. Fond stručne dokumentacije INGRI, Beograd.
8. Niewodniczański J., 1966: — Analysis of copper ores in mine conditions by X-ray fluorescence induced by isotope sources. Radioisotope Instruments in Industry and Geophysics (Proc. Symp., Warsaw, 1965) I, IAEA, Vienna.
9. Pantić R., 1969: — Izveštaj o istraživanju ležišta olovo-cinka Blizanci u 1969. godini. Fond stručne dokumentacije INGRI, Beograd.

10. Pantić R., 1969: — Izveštaj o kompleksnim istraživanjima Kratovsko-Zletovske vulkanske oblasti u 1969. godini. Fond stručne dokumentacije INGRI, Beograd.
11. Popović R., Jančić T., 1970: — Izveštaj o geološko-geofizičko-geohemijskim i rudarskim istraživanjima u rejonu Seljce — Maja Srt — Novo selo, 1970. Fond stručne dokumentacije INGRI, Beograd.
12. Putnik S., 1970: — Izveštaj o geološkim istraživanjima u rejonu Kosjerić — Povlen za 1970. godinu. Fond stručne dokumentacije INGRI, Beograd.
13. Technical reports series № 115, 1970: — Radioisotope X-ray fluorescence spectrometry. IAEA, Vienna.

Summary

RUŽICA NEDIMOVIĆ[1]

DETERMINATION OF LEAD, ZINC, COPPER AND TITANIUM BY PORTABLE X-RAY FLUORESCENCE ANALYSER

The paper deals with possibilities of portable X-ray fluorescence analyser application in investigation of Pb-Zn, Cu and Ti bearing materials. Investigations have been carried out with powdered samples, on the walls of underground workings, in trenches with the samples of ores and rocks, drill cores and heavy mineral concentrates.

Different factors have been studied — matrix effect, particle size effect, depth of X-ray penetration, sample geometry, moisture —, all of them having an effect on the accuracy of determination of the metal contents. Suggestions for obtaining a higher accuracy are also given.

The obtained limit of detection is: for lead 0,12 to 0,34% Pb, zinc 0,06 to 0,24% Zn, copper 0,08 to 0,14% Cu and 0,24% Ti (integral measurement). Copper concentration determination for impregnation type of deposit, based on in-situ measurements, is more favourable than the lead-zinc determinations in vein type deposit, due to the less heterogeneous distribution of the minerals. Results of investigations of the powdered samples are more accurate than the in-situ measurements. To obtain the highest accuracy in determination of metals the use of calibration curves is proposed. The curves are plotted for one deposit or for a group of deposits of the same type and are based on direct measurements and chemical analyses of standards.

The radioisotope X-ray fluorescence method, being used directly in the field, may be considered rather as an improved semi-quantitative than a quantitative method. Its application is valuable specially in the prospecting for useful minerals, when comparative relations of metal concentrations and distribution are important and high accuracy is of secondary importance. The main advantages of this method for prospecting are the great adaptability for various conditions in the field and immediate results.

[1] Institute for geological and mining investigation and exploration of nuclear and other raw materials, Beograd.

Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina. Sveska 9, 1974. godine

NEVENKA SIMIĆ
STRAHINJA KURDULIJA

UDK: 550.83+553.495

OBRAČUN INTEGRALNOG NIVOA INDIVIDUALNE EKSPOZICIJE OD RADONA, RADIOAKTIVNE PRAŠINE I SPOLJNOG ZRAČENJA ZA RADNIKE ISTRAŽNIH RADILIŠTA I RUDNIKA URANA

(sa 2 tabele)

Izmerene koncentracije radioaktivnih materija u vazduhu radne atmosfere ne predstavljaju veličine koje definišu individualnu ekspoziciju radnika već samo odražavaju stanje ove u pogledu dozvoljenih koncentracija radioaktivnih zagađivača. Usled toga, u poslednje vreme sve češće se u praksi i stručnoj literaturi definišu druge veličine koje daju verniju sliku individualne izloženosti radnika radijacionim štetnostima, nego što to mogu pružiti podaci o izmerenim koncentracijama.

U uslovima rada u rudnicima urana i istražnim radovima na uran, sredstva za zaštitu od zračenja su usled specifičnih okolnosti, veoma ograničena. Često ni sve preduzete dopunske mere koje se pre svega odnose na ventilaciju, nisu u stanju da obezbede uslove rada koji ispunjavaju odredbe u pogledu dozvoljenih koncentracija radioloških štetnosti u rudničkoj atmosferi. Isto tako praksa je pokazala, da je zbog objektivnih razloga, veoma teško poštovati i odredbe u pogledu vremenskog ograničenja rada kada koncentracije prelaze maksimalno dozvoljene vrednosti. Sve ove okolnosti upućuju na to da i u domenu ove delatnosti treba preći na definisanje i obračun individualnih ekspozicija koristeći podatke izmerenih koncentracija radioaktivnih zagađivača radne atmosfere, te na bazi ovih preduzimati adekvatne zaštitne mere.

Kroz ovaj rad je predložen način obračuna individualnih ekspozicija za radnike istražnih radilišta urana koji su tokom rada izloženi dejstvu radona, radioaktivne prašine i spoljnog zračenja kao i obračun integralnog nivoa individualne ekspozicije uslovljene udruženim dejstvom sve tri pomenute štetnosti. Sugerira se da se izloženost radnika ovim štetnostima sagledava kroz određeni vremenski period, što u velikoj meri simplificira sprovođenje zaštitnih mera i obezbeđuje veću radiološku sigurnost radnika, nego što je to do sada bio slučaj kada je pojam dozvoljene koncentracije kod nas bio jedini kriterijum relevantan za zaštitu od zračenja u ovim uslovima rada.

Predložen je način prezentovanja obračunatih ekspozicija putem formulara — ličnih kartona — iz kojih se za svakog pojedinca mogu sagledati nivoi kako tromesečnih ekspozicija, tako i sumarna godišnja ekspozicija tj. integralni nivo individualne ekspozicije uslovljen radonom, radioaktivnom prašinom i spoljnim zračenjem.

UVOD

Radiološke opasnosti u rudnicima urana vezane su za udisanje radona, produkata njegovog raspadanja i dugoživećih alfa emitera prisutnih u rudničkoj atmosferi u obliku prašine, a u manjoj meri za uticaj spoljne radijacije.

Radon je inertni gas koji nesmetano ulazi i izlazi iz pluća i minimalno se zadržava u respiratornom sistemu, dok se produkti njegovog raspadanja, zavisno od veličine njihovih čestica, deponuju prvenstveno u gornjim putevima respiratornog sistema. Radon dospeva u atmosferu rudnika uglavnom difuzijom kroz rudna tela, dok njegova koncentracija zavisi od mnogobrojnih činioca. Nasuprot tome, rudnička prašina nastaje samo za vreme radnih operacija, dok se emanacija radona odvija neprekidno. Izvori radona u vazduhu rudarskih radova mogu biti i vode koje teku kroz rudna tela i u priličnoj meri rastvaraju radon, a isto tako ga relativno lako otpuštaju u okolnu atmosferu.

Produkti radona imaju relativno kratak period poluraspada što dovodi do brzog narastanja njihove koncentracije iz prispelog radona i suprotno tome, vrlo brzo se raspadaju kada su izdvojeni kao uzorak. Produkti raspadanja radona su teški metali koji stupaju u različitom obimu u interakciju sa česticama atmosferske prašine, jonima i kondenzovanim nukleonima. Njihovi atomi u prvo vreme egzistiraju pojedinačno u vazduhu, ali nakon kratkog vremena bivaju zahvaćeni od nukleona, aerosola ili se lepe na zidove rudarskih radova. Zahvaćeni od sferičnih atoma aerosola ili nukleona u svemu slede njihovo ponašanje. Usamljeni atomi, poznati kao nekombinovani produkti radona, prvenstveno se deponuju u gornjim delovima respiratornog trakta. Mnogi istraživači smatraju da frakcija nekombinovanih produkata radona ima disproporcionalno značenje u nastajanju bronhijalnih doza kod rudara.

Rude urana sadrže sve elemente niza U-238 i U-235. Od njih su u pogledu interne kontaminacije interesantni U-238, Th-230, Ra-226 i Po-210. Rudničke operacije koje se sastoje od bušenja, otpucavanja, utovara i transporta rude, stvaraju rudničku prašinu koja sadrži dugoživeće radionuklide, a ovi su u većini ruda u ravnotežnom stanju. Depozicija aerosola u respiratornom traktu zavisi od fizičkih i fizioloških parametara. Fizički procesi koji imaju uticaja na depoziciju čestica su sudaranje po inerciji, gravitaciono taloženje i difuzija putem Braunovog kretanja. Depozicija radionuklida u plućima zavisi i od veličine čestica prašine. Čestice radioaktivne prašine veće od 30 μm retko dospevaju u respiratorni sistem. Braunovo kretanje ima posebnog uticaja na depoziciju čestica manjih od 0.1 μm, dok su gravitaciona kretanja znatna kada su čestice veće od 0.5 μm. Vlažnost vazduha može izazvati kondenzaciju čestica prašine menjajući na taj način njihove veličine i fizičko ponašanje. Jedan od načina uspešne borbe protiv prašine u rudnicima, jeste kvašenje rude u toku njenog otpucavanja i utovara.

OBRAČUN INTEGRALNOG NIVOA INDIVIDUALNE EKSPOZICIJE OD RADONA, RADIOAKTIVNE PRAŠINE I SPOLJNOG ZRAČENJA

Višegodišnjom kontrolom radne atmosfere istražnog radilišta urana Žirovski vrh, došlo se do podataka iz kojih je moguće zaključiti da glavne izvore opasnosti za rudare ovog radilišta prvenstveno predstavljaju radon i njegovi produkti, a u manjoj meri radioaktivna prašina i spoljno zračenje.

Ukupna alfa aktivnost prašine filtriranog vazduha, merena nakon odumiranja kratkoživećih produkata raspadanja radona, kretala se u granicama od 0.4 do 23.2 α rasp/min/m^3, što ukazuje da su koncentracije du-

goživećih alfa emitera u vazduhu ovog radilišta ispod maksimalno dozvoljenih normi. Spektrometrijska merenja aerosola ukazuju da je gama radioaktivnost ovih zanemarljiva, dok fluorimetrijsko određivanje sadržaja urana u jamskom vazduhu pokazuje da se koncentracije urana nalaze u granicama od 0.027×10^{-5} gr/cm^3 do 0.113×10^{-5} gr/cm^3. Ova merenja su vršena u periodu pre izrade ventilacione šahte na horizontu 580 m ovog radilišta, te dobijeni rezultati odražavaju stanje loše prirodne i veštačke ventilacije samo za period pre njenog završetka. U tom periodu, a i docnije, vršeno je određivanje sadržaja urana u urinu rudara i rezultati ovih analiza ukazuju da su unošenja urana sa prašinom u organizam rudara bila neznatna (Podaci Instituta za medicinu rada i radiološku zaštitu SR Srbije, Beograd).

Nivo spoljnog zračenja kontrolisan instrumentalno i putem individualne film dozimetrije nije ni u jednom slučaju prelazio vrednost od 400 mRem/mesečno. Međutim, prosečne mesečne koncentracije radona u ravnoteži sa produktima u toku petogodišnje kontrole istražnih radova ovog radilišta, kretale su se od 0.48×10^{-10}Ci/l do 8.46×10^{-10}Ci/l.

Sudeći na osnovu svega napred iznetog, opasnost po zdravlje radnika ovog radilišta prvenstveno je vezana za radon i njegove produkte radioaktivnog raspadanja. Međutim, kolike su stvarne opasnosti kojima su radnici izloženi tokom rada u istražnim radovima urana, ne mogu se ceniti samo na osnovu izmerenih koncentracija radioaktivnih zagađivača, te sugerišemo potrebu da se pored određivanja koncentracija ovih, pređe i na obračun integralnog nivoa individualne ekspozicije od radona, radioaktivne prašine i spoljnog zračenja za radnike istražnih radilišta na uran.

Naši zakonski propisi koji regulišu zaštitu od zračenja, veoma su oskudni u normama koje se odnose na istražne radove ili rudnike urana. Pojam koncentracije kod nas još uvek predstavlja skoro jedini regulator bezopasnih uslova rada u atmosferi zagađenoj radioaktivnim štetnostima. U jugoslovenskim normama nema nikakvih preporuka u pogledu definisanja i načina obračuna ekspozicija za radon i druge štetnosti, kako to druge zemlje praktikuju. Stoga su proučavanja obuhvaćena ovim radom usmerena na razvoj postupaka za proračun integralnog nivoa individualne ekspozicije uslovljene udruženim dejstvom radona, radioaktivne prašine i spoljnog zračenja.

Posebna pažnja je posvećena problemu opservacije izloženosti radnika pomenutim štetnostima kroz određeni vremenski period, dakle, kumulativnim vrednostima koje sa jedne strane pružaju adekvatniju sliku individualne ekspozicije radnika, a sa druge, povoljnije okolnosti za nesmetan kontinuitet izvođenja istražnih radova u uslovima kada povećane koncentracije radioloških štetnosti nije moguće raspoloživim sredstvima svesti na dozvoljeni nivo. Umesto dnevnih vremenskih ograničenja rada, sugerira se tromesečna opservacija nakon koje se preduzimaju odgovarajuća ograničenja bazirana na dobijenim obračunima kumulativnih vrednosti ekspozicija.

Ovakva opservacija izloženosti zahteva sistematsku kontrolu koncentracija aerozagađivača radne atmosfere svih zaposednutih radilišta, u toku svih radnih operacija, uz evidenciju boravka radnika u odgovarajućim radovima. Na bazi ovih podataka vrši se obračun broja kumulativnih smenskih vrednosti. Naime, ekspozicije se izražavaju proizvodom B (broj sme-

na à 8 časova) $\times D_p$ (ponderisana mesečna koncentracija izražena u MDK vrednostima*) što daje broj kumulativnih smenskih doza za odgovarajući mesec. Ova vrednost odgovara ekspoziciji čoveka koji radi 6 smena nedeljno pri koncentraciji od 3×10^{-10}Ci/l za radon u ravnoteži sa produktima i 3×10^{-14}Ci/l za prašinu i odnosi se na osmočasovni rad po smeni i 26 smena mesečno ili 78 smena u tri kalendarska meseca (13 uzastopnih nedelja). Na ovaj način obračunava se broj kumulativnih smenskih doza za svako tromesečje i najzad integralna godišnja ekspozicija od radona, radioaktivne prašine i spoljnog zračenja za svakog pojedinca.

Proračun nivoa ekspozicija od radona u ravnoteži sa produktima

Na osnovu evidencije o vrsti radne operacije, mestu gde se obavlja, vremenu provedenom u odgovarajućem radu i koncentracijama radona u ravnoteži sa produktima, proračun ekspozicija vrši se na sledeći način:

— Za svaki istražni rad i radne operacije obračunava se prosečna mesečna koncentracija radona u ravnoteži sa produktima i izražava se u MDK vrednostima (D), a vreme boravka u odgovarajućem radu u časovima (t);

— Nalazi se proizvod $D\times t$ a zatim $\frac{\sum(D\times t)}{\sum t}$ što predstavlja ponderisanu mesečnu koncentraciju (D_p) za uslove u kojima je radnik radio u toku meseca za koji se vršio obračun;

— Zatim se vreme provedeno na radu u ovim uslovima izražava u broju smena à 8 časova rada (B);

— Nalazi se proizvod $B\times D_p$ koji daje broj kumulativnih smenskih doza, odnosno koncentracija za mesec (N);

— Obračunava se suma kumulativnih smenskih doza za tromesečje, a zatim srednja godišnja ekspozicija od radona u ravnoteži sa produktima, kao $\frac{\sum(B\times D_p)}{B_g}$ gde je B_g — broj smena à 8 časova u godini.

U tabeli broj 1 dat je primer obračuna ponderisane mesečne koncentracije i broja kumulativnih smenskih koncentracija odnosno doza za odgovarajući mesec.

Proračun nivoa ekspozicija od radioaktivne prašine

Postupak za obračun ponderisanih mesečnih koncentracija, broja kumulativnih smenskih doza, tromesečnih ekspozicija i vrednosti srednje godišnje ekspozicije od radioaktivne prašine identičan je kao za radon sa produktima.

Prema našim zakonskim propisima koji su u skladu sa ICPR** preporukama, ukupna radioaktivnost prašine u vazduhu koji je zagađen mešavinom poznatih sastojaka radioaktivnih elemenata, ne sme prelaziti dozvoljenu aktivnost najtoksičnijeg radioaktivnog elementa koji se nalazi u mešavini. U nizu U-238 najtoksičniji radioaktivni elemenat je Ra-226

---

* MDK — Maksimalno dozvoljena koncentracija.

** ICRP — Internacionalna Komisija za radiološku zaštitu.

Ime i prezime radnika JOVANOVIĆ JOVAN..

Mesec JUN..... Godina 1966..

Istražno radilište GORENJA VAS.

TABELA BR. 1

Rudarski rad u kome je radnik radio u toku meseca	Vrsta radne operacije - posla	Vreme provedeno na radu pri toj vrsti posla t (časovi)	Prosečna mesečna koncentracija Rn^{222} u ravnoteži sa produktima D (MDK)*	Proizvod D x t
H - 291	bušenje orta	15	1,73	26,40
O_1 - P	-II-	30	3,77	113,10
H - 288	-II-	30	0,28	8,40
H - 231	-II-	7,5	0,13	0,98
H - 237	-II-	7,5	1,12	8,40
H - 241	-II-	37,5	0,25	9,38
H - 229	-II-	7,5	0,27	2,02
H - 233	-II-	7,5	1,94	14,52
H - 2	podgrađivanje i dr. poslovi	22,5	2,41	54,30
Ni (vitlo)	istovar rude	7,5	2,25	16,85
		$\Sigma t = 172,5$		$\Sigma(Dxt) = 254,35$

Ponderisana mesečna koncentracija

$$D_p = \frac{\Sigma(Dxt)}{\Sigma t} = \frac{254\,35}{172,5} = \boxed{1,473}$$

Vreme izraženo u broju smena à 8 časova

$$B = \frac{\Sigma t}{8} = \frac{172,5}{8} = \boxed{21,6}$$

Broj kumulativnih smenskih doza u mesecu

$$N = B \times D_p = 21,6 \times 1,473 = \boxed{31,82}$$

MDK* - maksimalno dozvoljena koncentracija

sa dozvoljenom maksimalnom koncentracijom od 3×10^{-11} μCi/cm³ odnosno 3×10^{-14}Ci/l, koja bi se odnosila na 6 smena nedeljno à 8 časova rada po smeni i 13 uzastopnih nedelja u 3 meseca i 264 smene godišnje.

Ova vrednost prevedena u α rasp/min/m³ vazduha iznosila bi: 1 MDK_{pr}* $= 3\times10^{-14}\times3.7\times10^{10}\times60\times10^{3} = 66$ α rasp/min/m³ za 4π — geometriju merenja. Kako se praktično merenja α — radioaktivnosti prašine vrše u uslovima 2π — geometrije, to će MDK_{pr} za ove uslove merenja iznositi 33.3 α rasp/min/m³. Prema tome, vrednosti izmerene α-radioaktivnosti prašine u vazduhu radilišta izražavaju se u broju MDK i dalje se na isti način kao za radon uključuju u obračun ponderisanih mesečnih koncentracija, kumulativnih smenskih koncentracija odnosno doza srednje godišnje ekspozicije od radioaktivne prašine.

Proračun nivoa ekspozicija od spoljnog zračenja

Dozvoljene doze ozračenja po celom telu od spoljnog zračenja tokom 13 uzastopnih nedelja iznose 3 Rem odnosno 3.000 mRem i predviđene su za rad od 6 smena nedeljno à 8 časova rada po smeni ili 13 nedelja za tromesečje i 264 smene godišnje s tim da ukupna godišnja doza ne prelazi vrednost veću od 5 Rem-a.

Uzimajući vrednost od 3000 mRem za tromesečje, kumulativna smenska doza odnosno nivo ekspozicije od spoljnog zračenja, prema tome, predstavljao bi odnos $\frac{3000}{78}=38.5$ mRem/smenu. Broj kumulativnih smenskih doza za mesec se obračunava na taj način što se mesečne vrednosti individualne film dozimetrije dele sa 38.5. Na ovaj način se vrednosti ekspozicija od spoljnog zračenja izražavaju kumulativnim smenskim vrednostima, te je moguće vršiti tromesečni obračun broja kumulativnih smenskih doza i srednje godišnje doze uslovljene spoljnim zračenjem, na isti način kao za radon i radioaktivnu prašinu.

Diskusija i način prezentiranja podataka obračunatih nivoa ekspozicija

Najpogodniji način prezentovanja podataka obračunatih nivoa ekspozicija od radona, radioaktivne prašine i spoljnog zračenja je svakako metod ličnih kartona. U odnosu na dijagrame distribucija i druge metode prezentovanja podataka, metod ličnih kartona pruža mogućnost da se za svakog pojedinca unose odgovarajući podaci vezani za uslove u kojima je radnik radio u toku obračunatog perioda rada, te je na osnovu ovih moguće, u željenom momentu, sagledati nivo individualne ekspozicije, kako za pojedinačne štetnosti, tako i sumarni nivo uslovljen njihovim udruženim dejstvom.

U tabeli 2 data je forma ličnog kartona. Pored personalnih podataka u karton se unose i sledeći podaci: Kolona 1 sadrži broj kumulativnih

---

* MDK_{pr} — Maksimalno dozvoljena koncentracija radioaktivne prašine u vazduhu.

smenskih doza od radona u ravnoteži sa produktima, za svaki radni mesec; kolona 2 — iste vrednosti za radioaktivnu prašinu; kolona 3 sadrži vrednosti kumulativnih smenskih doza od spoljnog zračenja; kolona 4 sadrži zbir tj. ukupan broj kumulativnih smenskih doza dobijen sabiranjem vrednosti za radon, radioaktivnu prašinu i spoljno zračenje za odgovarajući mesec; kolona 5 sadrži vrednosti spoljne radijacije u mRem. U odgovarajućim kolonama po vertikali formiraju se zbirovi za tromesečja. Vrednosti za tromesečje koje odgovaraju radonu, radioaktivnoj prašini i spoljnom zračenju sabiraju se u koloni 4, kao tromesečni kumulativ. Na isti način se unose podaci i za ostala tromesečja i najzad se sabiranjem dobijaju godišnje vrednosti broja kumulativnih smenskih doza za sve tri opservisane štetnosti. Preko ovih vrednosti obračunavaju se srednje godišnje doze, odnosno srednji godišnji nivoi ekspozicija tj. integralni godišnji nivo individualne ekspozicije kojoj je radnik bio izložen u toku svoga rada u toj godini.

Predloženi postupak obrade podataka kontrole radne atmosfere daje veličine koje omogućavaju da se opservacija izloženosti radnika radijacionim štetnostima sagledava kroz određeni vremenski period. Usvojeno je da to bude period od 3 meseca uz poštovanje odredbi od 78 kumulativnih smenskih doza koje čine zbrinu vrednost od radona, radioaktivne prašine i spoljnog zračenja. Prema tome, uvodi se tromesečna opservacija nakon koje se preduzimaju adekvatna ograničenja rada, ukoliko se pokaže da je radnik u toku 3 meseca prekoračio vrednost od 78 kumulativnih smenskih nivoa ekspozicija. U svakom slučaju suma srednjih godišnjih nivoa ekspozicija tj. integralni godišnji nivo individualne ekspozicije ne sme da pređe vrednost veću od 1.

Dobijene srednje godišnje vrednosti nivoa ekspozicija za radon i radioaktivnu prašinu zapravo predstavljaju koncentracije radona i radioaktivne prašine (izražene u MDK vrednostima) pod kojima je radnik obavljao rad u toku obračunate godine.

Preko ovih vrednosti moguće je dalje obračunavati količine godišnjih unošenja odgovarajućih radionuklida u organizam putem udisanja, saglasno preporukama datim od IAEA* i ICRP, lit. br. 2 (Aneks A i B).

Količina unetih radionuklida u organizam putem udisanja, ukoliko je poznata njihova koncentracija u vazduhu koji se udiše, obračunava se tako što se ove množe sa standardom godišnjeg unošenja vazduha udisanjem, za vreme rada u toku godine. Prema preporukama ICRP ovaj standard za radnike koji profesionalno rade u zoni jonizujućih zračenja iznosi 2.500 m^3/godišnje za prosečnog čoveka i radne operacije. Dobijene na ovaj način, vrednosti unošenja upoređuju se sa maksimalno dozvoljenim godišnjim unošenjima putem disanja, datim u tabeli IIA Aneksa A lit. br. 2.

Prema tome, uneta količina radona u ravnoteži sa produktima, za slučaj obračuna ilustrovanog u tabeli br. 2 iznosila bi:

$$0.82 \times 3 \times 10^{-7}\ \mu Ci/cm^3 \times 2.500\ m^3$$

$$0.82 \times 3 \times 10^{-7} \times 10^6 \times 2.500 \times 10^3 = 6.15 \times 10^2\ \mu Ci/godišnje.$$

Maksimalno dozvoljena godišnje uneta količina radona u ravnoteži sa produktima data u tabeli IIA pomenutog Aneksa je 7.3×10^2 μCi/godišnje, te

---

* IAEA — Internacionalna Agencija za atomsku energiju.

TABELA BR. 2

Prezime i ime JOVANOVIĆ JOVAN Radilište GORENJA VAS

Broj kartona 15

GODINA 1966.	RADON	RA-PRAŠINA	SPOLJNO ZRAČENJE	UKUPNO	SPOLJNO ZRAČENJE (mRem)
	KUMULATIVNE SMENSKE DOZE				
	1	2	3	4	5
Januar	10,16	1,32	0,78	12,26	30
Februar	11,13	2,14	2,60	15,87	100
Mart	7,42	1,86	2,60	11,88	100
I TROMESEČJE	28,71	5,32	5,98	40,01	230
April	28,88	2,16	1,04	32,08	40
Maj	8,50	1,64	0,78	10,92	30
Jun	31,82	2,12	0,78	34,72	30
II TROMESEČJE	69,20	5,92	2,60	77,72	100
Jul	14,02	1,65	0,78	16,45	30
Avgust	14,85	1,00	0,78	16,63	30
Septembar	29,40	1,13	0,78	31,31	30
III TROMESEČJE	58,27	3,78	2,34	64,39	90
Oktobar	34,30	2,36	0,78	37,44	30
Novembar	12,00	1,36	0,78	14,14	30
Decembar	14,56	1,24	0,78	16,58	30
IV TROMESEČJE	60,86	4,96	2,34	68,16	90
GODIŠNJE	217,04	19,98	13,26		510
	A	B	C		

SREDNJE GODIŠNJE DOZE

RADON $= \frac{A}{264} = \frac{217,04}{264} = 0,82$

RA-PRAŠINA $= \frac{B}{264} = \frac{19,98}{264} = 0,076$

SPOLJNA RADIJACIJA $= \frac{C}{264} = \frac{13,26}{264} = 0,052$

UKUPNO: $0,948 < 1$

je obračunata vrednost manja od maksimalno dozvoljene vrednosti. Na isti način moguće je odrediti i unetu količinu dugoživećih alfa emitera koristeći poznatu koncentraciju radioaktivne prašine izraženu u broju MDK_{pr}, a koja je uzeta kao baza od 3×10^{-11} μCi/cm³. Dobijena na ovaj način, vrednost unete količine dugoživećih alfa emitera upoređuje se sa maksimalno dozvoljenom vrednošću za Ra-226.

Kroz lični karton radnika sagledava se i nivo spoljne radijacije, te je moguće veoma lako upoređivati ga sa maksimalno dozvoljenim vrednostima koje su univerzalno usvojene i iznose 5 Rem godišnje.

POGOVOR

Radiološke opasnosti u rudnicima urana vezane su za udruženi uticaj spoljnog zračenja i interne kontaminacije.

U rudnicima urana, uopšte uzev, spoljna radijacija ne predstavlja ozbiljan problem kako u pogledu nivoa zračenja tako i u pogledu metoda njegove kontrole. Doze od spoljnog zračenja moguće je relativno lako meriti i uopšte obračunavati, te su i opšti standardi za spoljnu radijaciju univerzalno prihvaćeni i ne postoji nikakva dilema u pogledu njihove primene u rudnicima urana.

Obračun doza u slučaju internih kontaminacija, međutim, impliciran je mnogobrojnim dilemama kako u pogledu standarda koji bi bili baza za obračun, tako i u pogledu metoda kontrole i merenja koja se odnose na internu kontaminaciju. Ovome treba dodati i činjenicu da se u slučaju interne kontaminacije, radionuklidi različito zadržavaju u organizmu u toku različitog vremenskog perioda i da su pojedina tkiva i organi različito osetljivi na uticaj radijacija, te da ne postoji opšta, jedinstvena maksimalno dozvoljena doza za ove slučajeve ozračivanja. Usled toga, u raznim zemljama egzistiraju i razni standardi, prilagođeni sopstvenim uslovima i mogućnostima merenja.

Neki od ovih standarda baziraju na koncentracijama radona u ravnoteži sa produktima, drugi na potencijalnoj α-energiji produkata raspadanja radona (WL)*. Novija biološka i druga naučna istraživanja i izučavanja uticaja radioloških štetnosti u rudnicima urana vezana su za izučavanje uticaja frakcije nekombinovanih produkata radona. Mnogi istraživači smatraju (3) da ova frakcija ima velikog uticaja u nastajanju bronhijalnih doza kod rudara, tako da su i novije preporuke ICRP za MDC** u vazduhu uključile i frakciju nekombinovanih produkata radona u formulu za njen obračun za četrdesetočasovnu radnu nedelju.

Mnoge druge granične vrednosti su predmet izučavanja i preporuka IAEA i ICRP. Međutim, dok se nove preporuke od ovih foruma željno očekuju, u pojedinim zemljama autori su usvojili razne maksimalno dozvoljene vrednosti koje se odnose na internu kontaminaciju.

Praktični standardi koji se odnose na radioaktivnu prašinu u rudnicima urana uglavnom baziraju na ukupnoj α-aktivnosti radionuklida pod pretpostavkom da su ovi u ravnoteži u prašini. Ove aproksimacije

---

* WL — Dozvoljeni radni nivo potencijalne α-energije produkata raspadanja radona koji iznosi 1.3×10^5 MeV/lit. vazduha.

** MDC — Maksimalno dozvoljena koncentracija.

uprošćavaju proceduru merenja i uglavnom su prihvatljive jer su nivoi α-zračenja u ovim uslovima rada relativno niski. Prema tome, obračun maksimalno dozvoljenih ekspozicija za radioaktivnu prašinu moguć je, jer je vrednost od 3×10^{-11} μCi/cm³ prihvaćena u praksi kao maksimalno dozvoljena koncentracija radioaktivne prašine. Merenje ukupne α-aktivnosti prašine je pogodna procedura koja se obavlja umerenom učestalošću od 1 × mesečno u svim zaposednutim radilištima i za vreme svih radnih operacija.

Može se zaključiti da su teškoće kod obračuna individualnih akumuliranih ekspozicija koje predstavljaju sumu ekspozicija od spoljnog zračenja i interne kontaminacije, uglavnom vezane za postojeće dileme oko izbora standarda kojima se izražava ekspozicija uslovljena radonom i produktima njegovog raspadanja u rudničkoj atmosferi.

Predloženi sistem obračuna imao je za osnovu preporuke IAEA i ICRP koje se odnose na standarde bazirane na koncentracijama radona u ravnoteži sa produktima, ukupnoj α-radioaktivnosti prašine i univerzalno prihvaćenim opštim standardima za spoljnu radijaciju. Bez obzira na promene koje bi nastupile u novoprispelim ICRP — normama, predloženi način obračuna individualnih ekspozicija ne bi trpeo bitne izmene, bilo da se ove norme zasnivaju na koncentracijama radona u ravnoteži sa produktima, ili na potencijalnoj α-energiji produkata radona ili pak na maksimalno dozvoljenoj koncentraciji radona uz udeo frakcije nekombinovanih produkata radona.

Usled raznovrsnosti radnih operacija koje se obavljaju, velikog broja istražnih radova u domenu radilišta, brojnosti zaposlenih radnika i raznovrsnosti merenja radioloških štetnosti, obračun individualnih ekspozicija predstavlja vrlo obiman posao koji zahteva veliku tačnost i vremensku angažovanost. Stoga je na osnovu raspoložive dokumentacije izrađen program kompjuterske obrade postojećih podataka, i individualne ekspozicije moguće je sasvim racionalno obračunavati koristeći prednosti ove tehnike. Ovako povoljna okolnost racionalnog obračunavanja, još više upućuje na to da se u sistemu mera zaštite od jonizujućih zračenja u rudnicima urana i kod nas, pored određivanja koncentracija radioaktivnih zagađivača radne atmosfere, pređe i na obračun individualnih ekspozicija koje pružaju veći stepen sigurnosti radnika, nego što to mogu pružiti samo podaci o izmerenim koncentracijama.

(Predato za štampu jula 1974. god.)

LITERATURA

1. Avril, R. and J. Pradel, 1963: — Protection des travaileurs contre les poussièrs et les gaz radioactifs dans les mines d'uranium Françaises. Proceedings of IAEA Symposium on the Radiological Health and Safety in Mining and Milling of Nuclear Materials, Vienna.
2. Basic Safety Standards for Radiation Protection 1967 Edition. International Atomic Energy Agency, Safety Series № 9, Vienna.
3. George, A. C., and Hinchliffe, L., 1972: — Measurements of Uncombined Radon Daughters in Uranium Mines. Health Physics, Vol. 23.
4. Holiday, D. A. and H. N. Doyl, 1963: — Environmental studies in Uranium Mines. Proceedings of the IAEA Symposium on the Radiological Health and Safety in Mining and Milling of Nuclear Materials, Vol. I, Vienna.

5. Kusnetz, H. L., 1963: — Measurement of Radon and Radon-daughters products. Proceedings of the IAEA Symposium on the Radiological Health and Safety in Mining and Milling of Nuclear Materials, Vol. II, Vienna.
6. Manipulation sans danger des radioisotopes, 1958. Collection securite № 1. Agence Internationale de l'energie atomique, Vienne.
7. Panov D., Novak Lj., Kilibarda M., Đorđević V. and Simić N., 1970: — Investigation of correlation of 210 polonium in Hair, Blood and Urine in the Workers exposed to Radon and its Products of decay. Proceedings of the 2nd International Congress of the IRPA, Brighton.
8. Radiation Protection Procedures, 1973. International Atomic Energy Agency, Safety Series № 38, Vienna.
9. Safe Handlling of Radionuclides, 1973 Edition. Code of Practice sponsored by IAEA and WHO. International Atomic Energy Agency, Safety Series № 1. Vienna.
10. The Provision of Radiological Protection Service, 1965. International Atomic Energy Agency, Safety Series № 13, Vienna.

NEVENKA SIMIĆ[1]
STRAHINJA KURDULIJA[1]

CALCULATION OF INTEGRAL LEVEL OF INDIVIDUAL EXPOSURE TO RADON, RADIOACTIVE DUST AND ENVIRONMENTAL RADIATION OF WORKERS IN EXPLORATION AND MINING OF URANIUM

The detected concentrations of radioactive materials inside a given environment do not necessarilly represent the actual exposure to radioactive pollutants of persons working inside such an environment. Particulary in exploration and mining of uranium, the detected concentrations of radioactive materials are not the only indicators of safe entrance and work. Due to these specific conditions, it is very difficult to follow exactly the regulations covering the maximum concentrations of radioactive pollutant, and the limit of permissible time the workers can spend in such an environment, when the radioactivity is higher than maximum specified. Frequently, the all prescribed additional measures, related to ventilation or other protective measures, are short to be accepted by official standards. All these factors point out that, instead of general concentrations only, the individual exposure should be used.

The calculation of individual concentrations are suggested, based on exposure to radon, radioactive dust and environmental level of radiation, as well as the calculation of integral level of individual exposure due to the combined influence of these factors. The exposure of workers should be expressed for a given period, which simplifies the radiation protection and ensures the better safety of personnel engaged in uranium exploration and mining.

The calculated exposure should be registered in a personal file, which can give the individual exposure of every worker during a three months period, as well as the integral annual exposures.

[1] Institute for geological and mining investigation and exploration of nuclear and other raw materials, Beograd.

Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina. Sveska 9, 1974. godine

MLADEN IGNJATIJEVIĆ

UDK: 550.83

PRILOG IZUČAVANJU KARAKTERISTIKA TLA NA BAZI PRIMENE NUKLEARNOG ZRAČENJA

(sa 3 slike)

Sa naglim razvojem nuklearne tehnike u poslednje dve decenije ukazala se velika mogućnost primene radioaktivnog zračenja i izotopa u određivanju nekih osnovnih fizičkih parametara kao što su sadržaj vode, gustina suvog materijala, zbijenost, poroznost i dr.

Efikasnost ove savremene metodologije na dobijanju navedenih parametara prvenstveno se ogleda u nenarušavanju prirodnog stanja uzorkovanog materijala. Uvođenjem iste u praksu povećani su učinci građevinske operative.

UVOD

Primenom nuklearnog zračenja može se meriti gustina i vlažnost zemljišta u prirodnom stanju. Njihovom odredbom sledi dalje i upoznavanje drugih veličina, koje čine veoma važan faktor u građevinskim i agrotehničkim ispitivanjima.

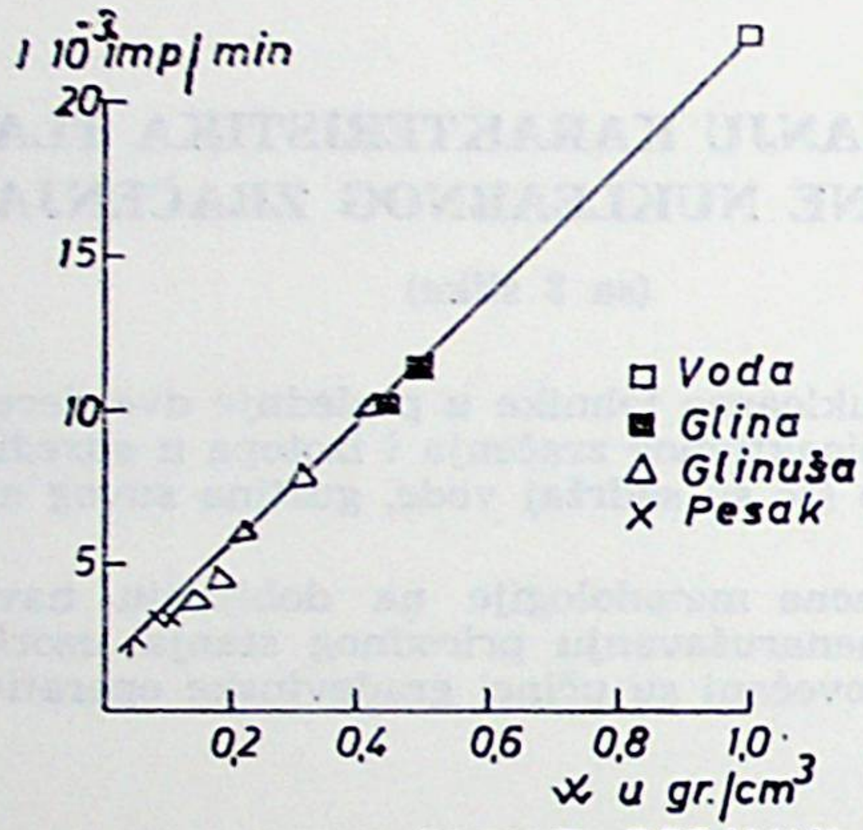
U sagledavanju niza prednosti ove metodologije prema klasičnom vidu ispitivanja treba istaći jednostavnost i brzinu merenja bilo tačkastog ili kontinualnog in situ, a da se pri tome tačnost podatka ne umanjuje.

Metode zasnovane na korišćenju nuklearnog zračenja temelje se na karakteristikama procesa interakcije zračenja sa atomima ispitivanog materijala. U konkretnom slučaju kod ispitivanja tla a pri merenju vlažnosti, koristi se osobina usporavanja brzih neutrona, dok se kod merenja gustine registruje efekat apsorpcije ili rasejavanja gama zračenja. U oba slučaja sfere uticaja uređaja, tj. istraživanja zahvataju maksimalni radius od oko 25 cm.

Kako je ovaj članak namenjen pretežno praktičnom upoznavanju sa primenom nuklearnog zračenja za određivanje parametara vlažnosti i gustine, a manje teoretskom razmatranju, to će se u tom smislu materija i izlagati, tj. bez objašnjenja fizičko-hemijskih fenomena koji su posledica određenih efekata nastalih procesom interakcije nuklearnog zračenja sa atomima ispitivanog materijala.

Sadržaj vode

Ako se u izlaganju počne sa parametrom sadržaja vode u ispitivanom tlu koji je sigurno po važnosti jedan od prvih kod građe objekata, onda je sigurno potrebno u prvi plan istaći i dostignuća razvoja uređaja — neutronskih detektora koji ga direktno određuju. Zbog veće operativnosti, u praksi se danas daje prednost kod određivanja vlažnosti proporcionalnim bornim brojačima u odnosu na detektore konstrukcija na bazi aktivacije ili zahvatnog gama zračenja. Broj detektovanih impulsa u direktnoj je zavisnosti od sadržaja vodonika tj. količine vode u tlu, pošto je osobina vodonika takva da efikasno usporava brze neutrone dobijene iz odgovaraju-



SL.1 ZAVISNOST BRZINE BROJANJA TERMALNIH NEUTRONA OD VLAŽNOSTI W DUBINSKIM MERENJIMA SONDOM Ra+Be IZVOROM
Po M. Bjelikovu

RELATION BETWEEIN THERMAL NEUTRONS COUNTING AND MOISTURE W BY LOGGING WITH Ra–Be EMITTER

ćih izvzora. Ukratko rečeno, stvoreni detektovni termalni neutroni proporcionalni su broju vodonikovih atoma.

Uz dobro izvedenu kalibraciju u laboratorijskim uslovima, upotrebljavajući veštački navlaženu zemlju, dobijaju se zadovoljavajući rezultati neposrednog očitavanja apsolutne vlažnosti u procentima (vidi sl. 1).

Za slučaj upotrebe parametra vlažnosti u zapreminskom obliku, ista se može sračunati iz proizvoda gustine u prirodnom stanju dobivene gustinskim karotažem i vlažnosti izražene u procentima. Međutim, kod ispitivanja vlažnosti u pretpostavljenim sredinama, koje sadrže jake asporbere termalnih neutrona kao što su Li, B, Cl, Mn, Co i drugih, njihov uticaj se može izbeći registrovanjem epitermalnih neutrona za čiju se detekciju konstruišu specijalni uređaji.

Pored neutronske metode za određivanje vlažnosti zemljišta, ista se može odrediti i gamaskopskom metodom merenja. Zapravo, sa ovom metodom se meri veličina promene vlažnosti, a da bi se ona mogla odrediti

u tlu u bilo kom momentu, treba prethodno izmeniti početnu vlažnost bilo kojim načinom kao npr. termostat — masenom metodom. Sledeći gore navedenu konstataciju, sadržina vode W_t pri I_l u nekom trenutku, pa je:

$$W_t = \frac{\ln \frac{I_o}{I_t}}{A} - 1$$

(A je konstanta $\mu_s d\rho_s$)
I_o — intenzitet zračenja pre prolaza kroz merni sloj
ρ_s — zapreminska gustina čvrste faze
d — debljina prozračenog sloja
μ_s — maseni koeficijenat slabljenja čvrste faze.

Potrebno je takođe istaći momenat, da se ne menja zapreminska gustina čvrste faze u toku praćenja procesa dinamike vlažnosti, jer to u mnogome utiče na korektnost merenja.

Dok su vertikalnom gamaskopijom in situ merenja plića maksimalno do 1 m (površinska), sa neutronskom metodom vlažnost se ispituje po dubini u sklopu karotažnih merenja.

Gustina materijala

Drugi parametar kod ispitivanja tla primenom nuklearnog zračenja odnosi se na određivanje gustine korišćenjem bilo metode apsorpcije (gamaskopija) ili metode rasejavanja gama zračenja.

Metoda apsorpcije bazira na fenomenu slabljenja snopa gama zračenja koji prolazi kroz neki sloj određenog materijala u zavisnosti od njegove gustine i debljine. Iz dobijenih mernih podataka I, I_o, d i μ_{eff} može se odrediti gustina materijala po sledećoj relaciji:

$$\rho = \frac{\ln I_o - \ln I}{\mu_{eff} \cdot d}$$

μ_{eff} — efektivni maseni koeficijenat slabljenja određuje se eksperimentalno.

Kod primene gamaskopije za određivanje zapreminske težine čvrste faze uzorka za slučaj kada se radi o nepotpunom zasićenju vlagom ili potpunom koristimo sledeće izraze:

U prvom slučaju

$$\gamma_s = \frac{\ln I_o - \ln I}{\mu_s \cdot d} - 1.1\, W_v$$

U drugom slučaju

$$\gamma_s = \frac{\ln I_o - \ln I - \mu_v G_v d}{\left(\mu_s - \mu_v \cdot \frac{G_v}{G_s}\right) d}$$

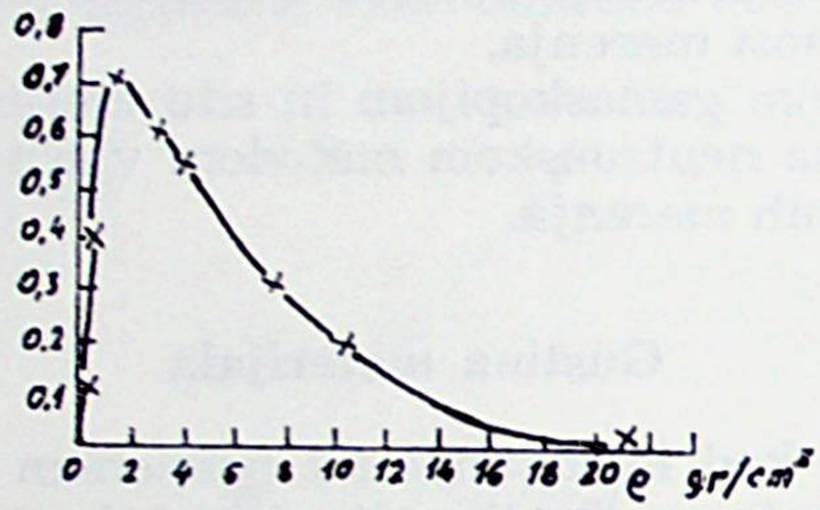
W_v — zapreminska vlažnost
G_v — specifična težina vode
G_s — specifična težina zemljišta
μ_v — maseni koeficijent slabljenja zračenja u vodi.

Danas su u sve većoj upotrebi scintilacioni detektori koji daju mogućnost diskriminacije impulsa od rasejanog zračenja, čime je i umanjen značaj dosadašnjih olovnih kolimatora iz kojih gama zraci izlaze u vidu uskog snopa.

Kod površinskog ispitivanja ovom metodom postiže se dubinski zahvat do 1 metra, izradom odgovarajućih paralelnih sondažnih bušotina ili aparatom tipa »à pointe«. U zavisnosti od tehnike istraživanja na polju

apsorpcije najpoznatije su sledeće konstrukcije po autorima: Bernhard-u (U.S.A.), King-u i Parson-u (U.S.A.), Berliner-u (SSSR), Krakow-u (SSSR), Durant-u (SSSR) i Wendt-u (SRN). Naravno da svaka od ovih tehnika ima svojih prednosti i nedostataka o čemu ovde neće biti govora.

Sa drugom metodom koja se zasniva na zavisnosti intenziteta rasejanog gama zračenja od gustine ispitivane sredine postiže se manji dubinski efekat istraživanja (u radijusu od 0,20 — 0,25 m) nego u prethodnom slučaju, ali se zato taj nedostatak nadoknađuje sa daleko većim učinkom merenja (3 — 4 puta).



SL. 2 ZAVISNOST INTENZITETA RASEJANOG ZRAČENJA OD GUSTINE SREDINE

Po M. Bjelikovu

RELATION BITWEEN THE INTENSITY OF SCATTERED RADIATION AND DENSITY OF THE MEDIUM

Oblik krive zavisnosti intenziteta rasejanog zračenja i gustine ispitivanog materijala dat na slici 2. je rezultate određenog faktora rasejavanja poznatog pod imenom Komptonovog kao i foto efekata, a izražava se sledećim odnosom: $I = K\rho^{1/2}\, e^{-2\rho}$ gde je: I — intenzitet gama zračenja: K i λ konstante koje se odnose na sondu i datu aktivnost izvora.

Faktor $\rho^{1/2}$ određuje rasejanje gama zračenja, a faktor $e^{-\lambda\rho}$ apsorpciju rasejanog zračenja.

Položaj maksimuma krive zavisnosti rasejanog zračenja od gustine sredine može se pomerati bilo menjanjem rastojanja između izvora i detektora a takođe izborom različitih izvora gama zračenja (Cs^{137} i Co^{60}). Kalibraciona kriva obično se izvodi u laboratoriji u kontejnerima oblika cilindara dijametra oko 60 cm i visine 1 m ili korišćenjem određenih etalona gustine od 1,9 — 2,4 (zadovoljava se uslov lineannosti).

Kako je za građevinske svrhe uglavnom potrebna suva građevinska težina, koja predstavlja težinu čvrstih sastojaka po jedinici zapremine a ne u prirodnom stanju koja se dobija direktno merenjem na terenu, to se ona lako određuje računskim putem:

$$\gamma_s = \frac{\rho}{1 + W\%}$$

ρ — gustina u prirodnom stanju
W — vlažnost tla dobijena neutronskom metodom.

Za slučaj poznavanja specifične težine *(G)* uzorka ista se može dobiti po H e i n e m a n-u relacijom:

$$\gamma_s = \frac{G(\rho - 1)}{G - 1}$$

G — specifična težina materijala.

Na bazi ovih relacija vrlo često su u primeni grafički načini određivanja parametara gustine u suvom stanju kao na prikazanom dijagramu (vidi sliku 3).

Zbijenost tla

Neposredan interes kod gradnje objekata a pri ispitivanju tla predstavlja i određivanje parametra zbijenosti, koji se javlja promenom gustine usled različitih spoljnih uticaja kao što su upotreba uređaja za vibriranje kod nevezanih zemljišta ili uređaja takozvanih »ježeva« kod vezanih.

Ako se traži određivanje relativne promene gustine tla *(D)*, onda se to lako postiže praćenjem merenja internziteta gama zračenja. Ovaj efekat se izražava relacijom:

$$D = \frac{\ln I_o - \ln I_1}{\ln I_o - \ln I_2}$$

I_0 — maksimalni intenzitet zračenja bez uzorka

I_1 — intenzitet zračenja za uzorak u prirodnom stanju

I_2 — minimalni intenzitet zračenja za najveću zbijenost tla.

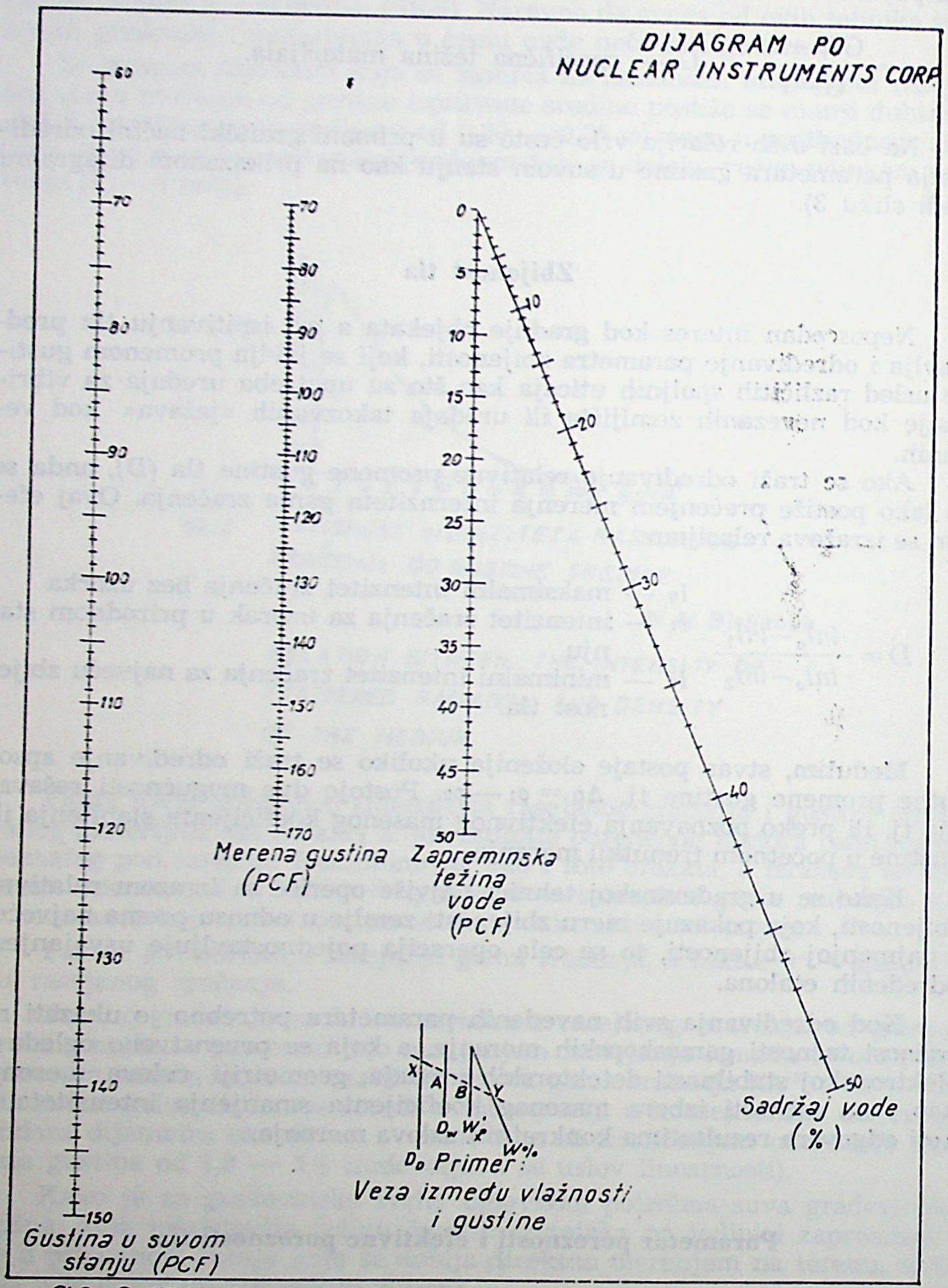
Međutim, stvar postaje složenija ukoliko se traži određivanje apsolutne promene gustine tj. $\Delta\rho = \rho_1 - \rho_2$. Postoje dve mogućnosti rešavanja tj. ili preko poznavanja efektivnog masenog koeficijenta slabljenja ili gustine u početnom trenutku merenja.

Kako se u građevinskoj tehnici najviše operiše sa izrazom relativne zbijenosti, koja pokazuje meru zbijenosti zemlje u odnosu prema najvećoj i najmanjoj zbijenosti, to se cela operacija pojednostavljuje usvajanjem određenih etalona.

Kod određivanja svih navedenih parametara potrebno je ukazati na važnost tačnosti gamaskopskih merenja, a koja se prvenstveno ogleda u elektronskoj stabilnosti detektorskih uređaja, geometriji uslova merenja kao i na tačnosti izbora masenog koeficijenta smanjenja intenziteta, a koji odgovara rezultatima konkretnih uslova merenja.

Parametar poroznosti i efektivne poroznosti tla

Na rešavanju problema iz geomehanike i fundiranja određivanje parametra poroznosti *(n)* ima veliki značaj. Ovaj parametar definisan je odnosom zapremine pora *(V_p)* u zemljinoj masi sa ukupnom zapreminom uzorka *(V_o)*. Gustinskim karotažem prikazanim u obliku kontinualnog za-



Sl. 3 Grafički način određivanja gustine u suvom stanju
Grafikal method for determination of dry density

pisa veoma se lako može sračunati poroznost na svakom mestu po dubini bušotine iz sledećeg matematičkog izraza:

$$n = \frac{\rho_s - \rho}{\rho_s - \rho_f} \times 100\%$$ gde je ρ_s — zapreminska težina čvrstih sastojaka

ρ_f — zapreminska težina isplake

ρ — zapreminska težina dobijena gustinskim karotažom.

Kod određivanja parametra efektivne poroznosti *(S)* koja se izražava odnosno V_w/V_o tj. odnosom zapremine vode (V_w) prema totalnoj zapremini (V_o), u upotrebi je složenija tehnika. Koriste se dve bušotine pri radu i to u jednu se injektira izotop pod pritiskom a u drugoj se ispumpavanjem prati njegov dolazak. Za unapred poznate veličine kao što su r — rastojanje između bunara, b — debljina vodonosnog horizonta i V_a — zapremina upumpane vode u toku maksimalne aktivnosti izračunava se efektivna poroznost po sledećem izrazu.

$$S = \frac{V_a}{\pi r^2 b}$$

Sa ovim poslednjim prikazanim parametrom a ima ih više koji se koriste u građevinskim i agrotehničkim ispitivanjima dat je prikaz o mogućnosti rešavanja istih putem izotopske tehnike.

Na kraju ovog članka treba spomenuti i specijalizovane kuće koje rade uspešno na razvoju nuklearnih uređaja pomoću kojih se određuju parametri vlažnost i gustina a to su: Troxler labortories (USA), Soil test incorporation (USA), NII Toplopribor (SSSR), Institut za hidrotehniku i melioracije (SSSR), Nuclear Enterprises (UK) i Laboratorium prof. Dr. Berthold (SRN) i dr.

ZAKLJUČAK

Od pre nekoliko godina počela su kod nas ispitivanja na određivanju vlažnosti i gustine zemljišta primenom radioizotopske tehnike. Sada se najveća pažnja poklanja usavršavanju metodologije terenskih merenja i što kompletnijoj obradi mernih podataka.

Ovaj članak prvenstveno ima za cilj da se sagledaju neke prednosti ove savremene metodologije merenjem vlažnosti i gustine u prirodnom stanju, a radi određivanja nekih fizičkih parametara zemljišta koje su neophodne kod projektovanja u građevinarstvu, agronomiji i drugim oblastima. Prednost ove metode sačinjavaju sledeći elementi: uzimanja mernih podataka in situ bez uzimanja uzoraka, ušteda u vremenu merenja sa bitnim povećanjem tačnosti u određivanju ovih parametara.

LITERATURA

1. Bjelikov M. gr. pisaca, 1964: — Primena radioaktivnih izotopa u hidrotehnici.
2. Milojković B. i dr. pisaca, 1963: — Principi i metode primene radioaktivnih izotopa u industriji.

3. Pol E., 1967: — Nerazrušajuščie metodi ispitania betona.
4. Smorodionov M., 1967: — Radioizotopi v stroiteljstve fundamentov i podzemnoh sooruženia.
5. Tehnical reports Series № 130 1971: — Commercial Portable Gauges for radiometric determination of the density and moisture content of Building materials.

Summary

MLADEN IGNJATIJEVIĆ[1]

CONTRIBUTION TO THE STUDY ON THE DETERMINATION OF SOME PHYSICAL PARAMETERS OF SOIL — AS WATER CONTENT, DENSITY OF DRY MATERIAL, COMPRESSION AND POROSITY, BASED ON APLICATION OF NUCLEAR RADIATIONS

The method for the radiometric determination of density and moisture of soils and building materials have been successfully elaboratied in recent years. The development of this method and different instruments has reached a sufficient stege to acquaint the widest specialized circles with present potential and adventages.

The radiometric gauges are more widely used in their portable forms as field instruments, particularly for in situ measurements on soils or other bulk materials in civil engineering, agriculture and hydrology.

The purpose of this paper is to present to geologists and civil engineers a general idea of the application of various nuclear techniques in specific engineering problems, such as determination of density and moisture of soils and building materials.

The neutron moisture gauge offers a simple, quick, precise and non-destructive technique for the determination of soil moisture at about 20 cm below soil surface. The sphere of influence for depth probes is similar, too.

The technique is based on fact that fast neutrons from source are slowed down by elastic collisions with hydrogen nuclei in soil much more efficiently than by the nuclei of heavier elements. The other technique for determination of soil moisture by gramma transmission is mentioned in this paper, too.

As to density, there are two methods presented in this paper. In one the source of gamma rays is placed in fixed position with the detector masuring the attenuation of intensity of the photon beam. This method is well known as direct transmission method.

In the other, the process of back-scattering of gamma rays is used. This technique enables measurement of the bulk density in the sphere of influence of about 20—25 cm.

Further, it is possible to obtain other features of soil by mathematical calculation indispensable for civil engineering and agriculture projects. The most important among these characteristic parameters, such as water content, dry density, congestion of soil and porosity, are treated in this paper.

---

[1] Institute for geological and mining investigation and exploration of nuclear and other raw materials, Beograd.

Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina. Sveska 9, 1974. godine

SLOBODAN VUKAŠINOVIĆ

UDK: 550.838 : 55

O SAVREMENOJ TEHNIČKOJ OPREMI ZA VISOKOPRECIZNA AEROMAGNETSKA ISPITIVANJA I MOGUĆNOSTIMA PROŠIRENJA POLJA PRIMENE AEROMAGNETSKE METODE U GEOLOGIJI

(sa 3 slike)

U ovom radu prikazana je tehnička oprema za visokoprecizna aeromagnetska ispitivanja, kojom raspolaže Institut. Istaknute su mogućnosti proširenja polja primene aeromagnetske metode u geologiji. Prednosti savremene tehnike ilustrovane su upoređenjem aeromagnetskih podataka dobijenih merenjima sa fluksnim i protonskim magnetometrom na istom terenu.

U svom istorijskom razvoju aeromagnetska metoda je prešla put od primene instrumenata koji zahtevaju gravitacionu stabilnost pa do visokoosetljivih mernih uređaja primenjivih i u kosmičkim istraživanjima. Primena prvih bila je razumljivo kratkoga veka. Čim se došlo do uverenja da merenja magnetskog polja Zemlje iz vazduha mogu dati značajan doprinos naučnim i primenjenim istraživanjima usmereni su napori za pronalaženje i razvoj adekvatnih instrumenata za merenje sa letilice, koji ne traže gravitacionu stabilnost. Kao prvi u primeni je bio indukcioni Z-aeromagnetometar osetljivosti 100 gama, kojim se merila razlika vertikalne komponente Zemljinog magnetnog polja. Zatim je u II svetskom ratu došlo do pronalaska i kasnije do razvoja fluksnih T-aeromagnetometara (za merenje razlike totalnog intenziteta magnetnog polja Zemlje), koji se i danas još primenjuju. Prvi i drugi aeromagnetometar sa kojima je Institut ranije bio opremljen bili su instrumenti ovoga tipa: ASGM — 25 (»pik — tip«) osetljivosti 20 gama i ASG — 46 (»tip druge harmonike«) osetljivosti 5 gama. Inače, fluksni aeromagnetometri dostigli su najveću osetljivost reda jedne game. U toku šeste decenije pronalaze se i nadalje razvijaju protonski uređaji za merenje totalnog intenziteta magnetskog polja. Zahvaljujući svojoj jednostavnosti, neznatnim dimenzijama i maloj težini, ovi uređaji se koriste kako pri merenjima na zemlji, tako i pri ispitivanjima iz vazduha i na moru. Danas su dostigli visoku osetljivost koja iznosi 0,05 gama. Od pre nekoliko godina u aeromagnetskim ispitivanjima našli su primenu i kvantni magnetometri (sa parom cezijuma, helijuma ili rubidijuma), koji su prvenstveno bili namenjeni za kosmička

istraživanja. Osetljivost ovih uređaja je veoma visoka, meri se hiljaditim delom game. S obzirom na teško otklonjive greške, koje pri aerogeofizičkim merenjima proističu od dnevne varijacije, navigacije i visine leta, po našem mišljenju, ovakva osetljivost prevazilazi zahteve primenjene geologije.

Paralelno sa razvojem aeromagnetometara razvijali su se i ostali uređaji neophodni za registraciju podataka, navigaciju i utvrđivanje stvarne linije leta, zatim uređaji za merenje dnevnih varijacija magnetnog polja Zemlje, kao i sredstava za automatsku obradu podataka. U praksu aeromagnetskih ispitivanja uvedeni su digitalna tehnika, sistemi za aktivnu navigaciju, kompjuterska obrada i drugi tehnički pronalasci koji doprinose većoj tačnosti merenja, efikasnijoj obradi podataka i maksimalnom izvlačenju geoloških informacija iz aeromagnetskih podataka.

Od nedavno se i naš Institut opremio savremenom tehnikom koja omogućuje visokoprecizna aeromagnetska ispitivanja. Raspolaže se protonskim aeromagnetometrom »Geometrics« G-803 HP, zatim Geometrics-ovim digitalnim sistemom za prikupljanje podataka G-704, aerofotokamerom »Automax« G-2, radar visinomerom »Bonzer« TRN-71. Uvešće se i adekvatna bazna stanica za registraciju dnevnih promena magnetskog polja; za sada se koriste podaci Geomagnetskog instituta iz Grocke. Predviđa se u dogledno vreme opremanje i sistemom za aktivnu navigaciju (Doplerom). Uglavnom zbog radova u inostranstvu jer ovaj sistem nije toliko neophodan za terene kao što je teritorija naše zemlje, bogata prirodnim i veštačkim orijentirima, koji omogućavaju zadovoljavajuću navigaciju po topografskoj osnovi.

Aeromagnetometar G-803 HP predstavlja modifikaciju uređaja G-803 koji je nešto niže osetljivosti. Merni elemenat se može ugraditi u repni deo letilice, na krila ili može biti vučen preko kabla dužine oko 30 m. U našoj tehnici primenjen je treći način položaja mernog elementa, tzv. »ptica«. Pored mernog elementa (»ptice«) uređaj se sastoji još od elektronskog sistema, čekrka za ispuštanje i dizanje »ptice« i dvokanalnog analognog rekordera sa markerom. Osnovne karakteristike G-803 HP su sledeće:

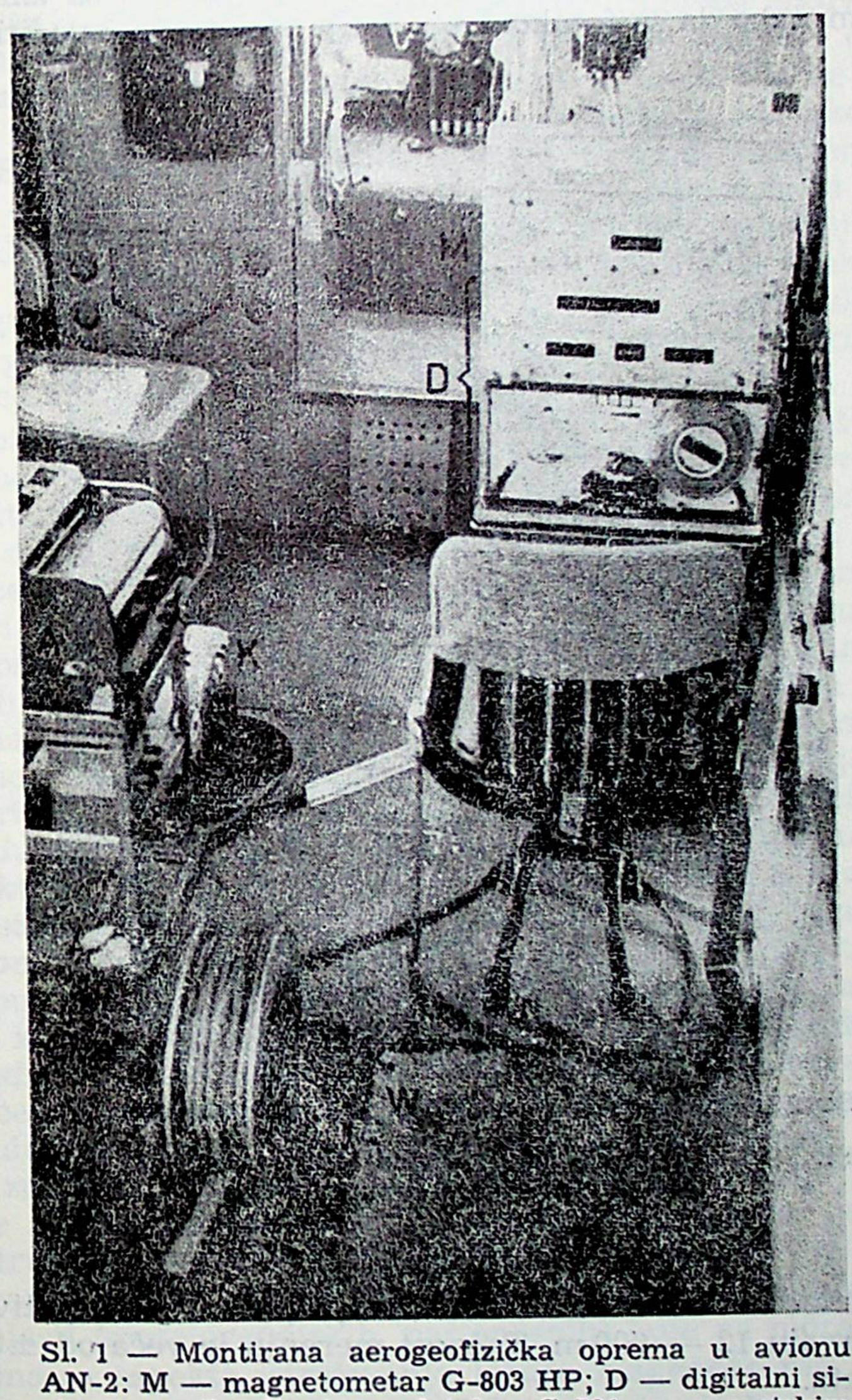
— Osetljivost / vrednost cele skale analognog zapisa

Broj očitanja u sekundi	Osetljivost (u gamama)	Vrednost cele skale analognog zapisa (u gamama)
5	1	100 ili 1000
3,5	0,5	50 „ 500
2	0,2	20 „ 200
1	0,1	10 „ 100

— Merno područje: 20—100.000 gama.
— Temperaturno područje: 0° do +50°C; relativna vlažnost 0 do 90%.
— Izlaz: analogni i digitalni. Moguće direktno očitanje u gamama.
— Napajanje (iz generatora letilice): 22—32 V i prosečno 150 W.

Digitalni sistem za prikupljanje podataka G-704 sa magnetskim rekorderom Cipher 70 obezbeđuje sinhronizaciju i zapis različitih geofizičkih podataka (magnetskih, radiometrijskih, elektromagnetskih). Za sada se pri našim ispitivanjima na magnetskom rekorderu beleži: totalni inten-

zitet magnetskog polja, datum, časovi, minute i sekunde, zatim brojevi određenih intervala cikliranja magnetometra i ručno zauzeti podaci za identifikaciju (broj leta, maršrute, orijentira). Ukupno se sada registruju 24 karaktera BCD, s tim što postoji mogućnost proširenja registracije za još 24 karaktera koji bi se mogli odnositi na gamaspektrometar, elektro-

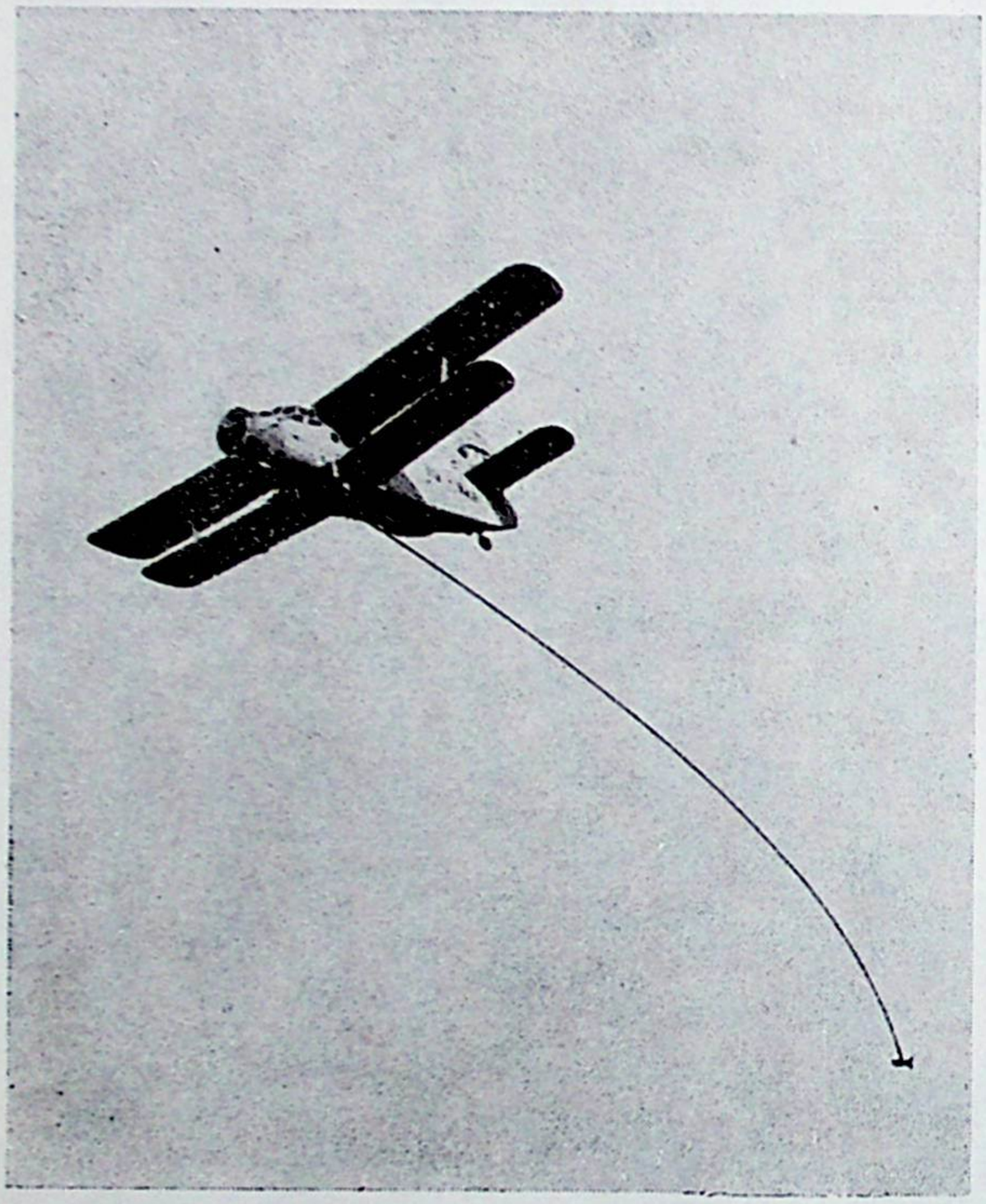


Sl. 1 — Montirana aerogeofizička oprema u avionu AN-2: M — magnetometar G-803 HP; D — digitalni sistem za prikupljanje podataka G-704 sa magnetskim rekorderom Cipher 70; A — analogni rekorder; K — aerofotokamera »Automax« G-2 i W — Čekrk

Fig. 1 — Mounted airgeophysical equipment in aircraft AN-2: M — magnetometer G-803 HP; D — Data acquisition sistem G-704 with magnetic tape recorder Cipher 70; A — analog recorder; K — airborne spotting camera »Automax« G-2 and W — Winch sistem

magnetometar, dopler i dr. Magnetski rekorder je sa 7 traka NRZI saglasno IBM normama, 200 bpi pri 300 karaktera u sekundi; dužina magnetske trake je 600 fita tako da dozvoljava zapis od 1,4 miliona karaktera različitih podataka.

Aerofotokamera »Automax« 35 mm, model G-2 omogućava kontinualno i povremeno snimanje. Sočivo je širokougaono, sa žižinom daljinom od 24 mm, tako da se fotokontrola linije leta može izvoditi i sa malih visina.



Sl. 2 — Avion AN-2 sa »pticom« u procesu merenja.

Fig. 2 — Aircraft with towed »bird« during field measurements.

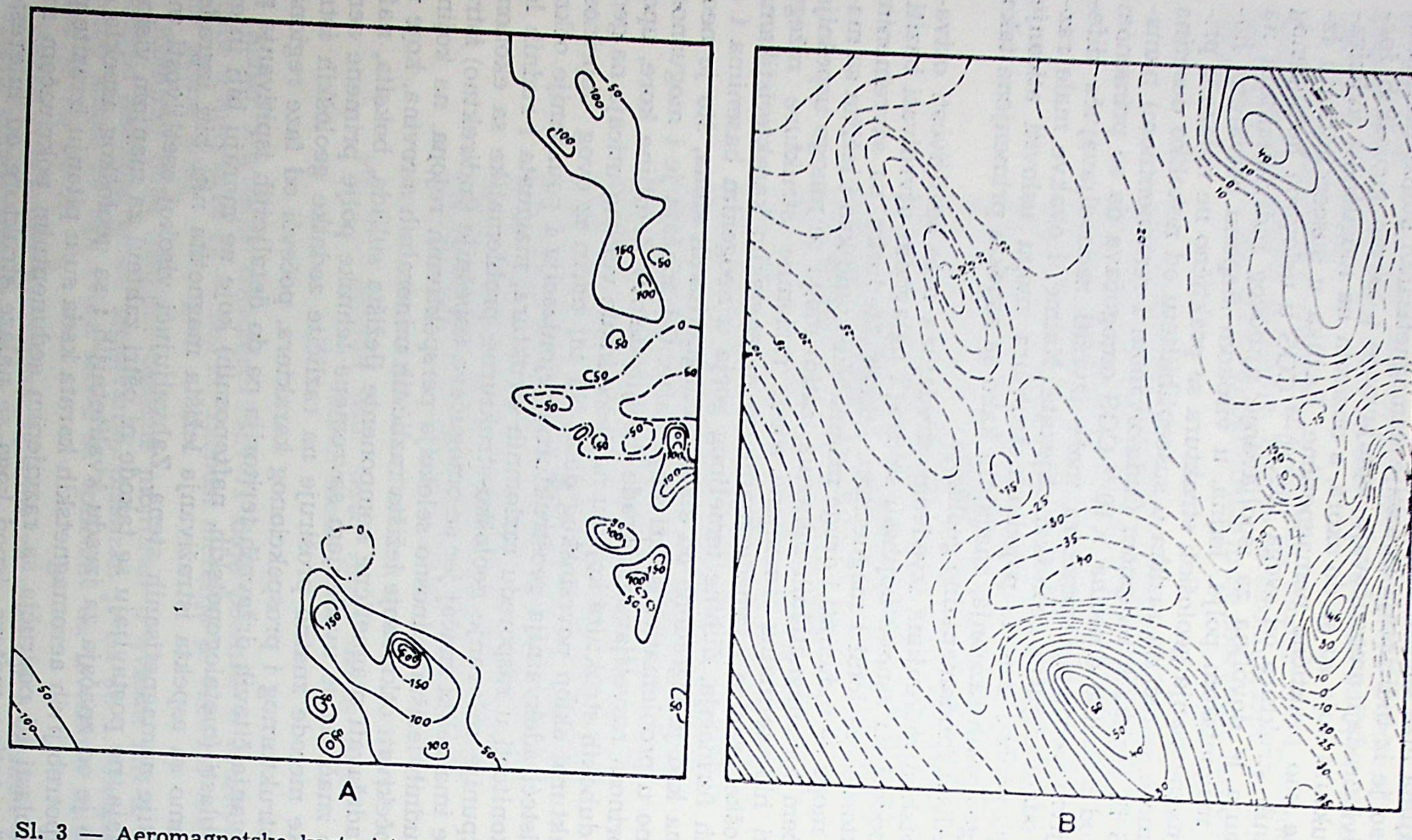
Radar altimetar »Bonzer« TRN-71 daje podatke o relativnoj visini letilice u intervalu 12 — 600 m. Tačnost merenja je veća od ±5% indicirane visine leta.

Komplet naše tehničke opreme montiran u avionu AN-2, sa kojim izvodimo aeromagnetska ispitivanja, prikazan je na sl. 1. Ukupna težina opreme iznosi 54 kg. Avion AN-2 sa »pticom« na izvršenju zadatka prikazan je na sl. 2.

Velika preciznost savremene opreme za merenje i obradu podataka uslovljava velike mogućnosti za proširenje polja primene aeromagnetske metode u geologiji. Na bazi ranijih aeromagnetskih podataka, ostvare-

nih sa uređajima niže osetljivosti, doprinos rešavanju geološke problematike proisticao je iz indiciranja izrazitije namagnetisanih stena. Međutim, visokoosetljivi uređaji omogućavaju ispoljavanje i takvih geoloških formacija i struktura koje su se do skora, s obzirom na mogućnost indiciranja, tretirale kao praktično nemagnetične. Razlika u susceptibilitetu između susednih struktura od svega 10×10^{-6} CGS u uslovima homogenog namagnetisanja je dovoljna za ispoljavanje njihovog individualiteta na anomalnom magnetskom polju. Istina, u visokom stepenu ostvarena homogena namagnetisanja geoloških struktura se praktično ne nalaze u prirodi. Ipak, može se reći da razlika u susceptibilitetu od nekoliko desetina $\times10^{-6}$ CGS ili razlika u ukupnom (indukovanom i remanentnom) namagnetisanju od nekoliko desetina $\times10^{-6}$ CGS omogućava da se primenom visokoosetljivih aeromagnetometara može izvršiti zadovoljavajuća diferencijacija odgovarajućih geoloških objekata. Naime, i ovakve male razlike u magnetičnosti između pojedinih struktura mogu usloviti sticanje određenih geoloških saznanja, značajnih kako sa aspekta primenjene tako isto i sa gledišta fundamentalne geologije.

Magnetskim merenjima izvedenim uređajima niže osetljivosti ostvarivani su podaci na osnovu kojih su se mogli uglavnom utvrđivati baziti, krupni tektonski razlomi i magnetitska ležišta. Međutim, sa savremenim uređajima mogu se indicirati i druge magmatske stene kao i ležišta sa manjim učešćem feromagnetičnih minerala, zatim mogu se mnogo uspešnije detektovati hidrotermalno izmenjene zone, razlomne strukture nižega reda, geološke granice i između manje po magnetskim karakteristikama kontrastnih formacija, dubine temeljnog gorja u neogenim basenima i u slučajevima kad je izgrađeno od slabo namagnetisanih stena, što je neobično važno u problematici istraživanja nafte. Od značaja je i mogućnost većeg doprinosa rasvetljavanju građe dubljih delova Zemljine kore, upoznavanju dubokih struktura koje su najčešće imale velikog uticaja na geološko-strukturni sklop površinskog dela. Na taj način iz ovog doprinosa može proisteći adekvatnija geostrukturna rejonizacija i pouzdanije otkrivanje zakonitosti u rasporedu razlomnih struktura, magmata i rudnih ležišta. Potpunije rešavanje geološko-strukturne problematike sa ekonomske strane ima veliki značaj jer se omogućava uspešnije (indirektno) istraživanje rudnih ležišta, odnosno selekcija perspektivnih rejona, na kojima se može očekivati otkrivanje ležišta različitih mineralnih sirovina, koje ne moraju sadržavati magnetične komponente (ležišta sulfida, boksita, nafte i dr.). To znači da se uvođenjem savremene tehnike polje primene aeromagnetske metode znatno proširuje na različite zadatke geoloških istraživanja, strukturnog i prospekcionog karaktera, počevši od faze regionalnih ispitivanja čitavih državnih teritorija pa do detaljnijih ispitivanja pojedinih oblasti (metalogenetskih, naftonosnih) koje ne moraju biti interesantne samo sa aspekta istraživanja ležišta magnetita niti biti izgrađene od izrazitije namagnetisanih stena. Zahvaljujući visokoj osetljivosti mernih uređaja, ne postavljaju se takođe ni oštri zahtevi za manjom visinom leta. Ovo je od značaja za izradu kvalitetnijih i sa geološkog aspekta dovoljno upotrebljivih aeromagnetskih karata kada su u pitanju izrazite planinske oblasti ili područja sa razvijenim sedimentnim pokrivačem moćnosti više stotina metara, ispod koga se nalaze strukture od interesa za ispitivanje.



Sl. 3 — Aeromagnetske karte istoga terena dobijene po podacima fluksnog magnetometra ASG-46 (A) i protonskog magnetometra G-803 HP (B).

Fig. 3 — Airmagnetic maps of the same area obtained by both fluxgate magnetometer ASG-46 (A) and proton magnetometer G-803 HP (B).

Kao ilustraciju prednosti visokoosetljivih protonskih aeromagnetometara u odnosu na fluksne u pogledu detaljnosti poznavanja konfiguracije anomalnog polja a time i u pogledu upotrebljivosti podataka sa aspekta interpretacije, prikazujemo uporedne karte izoanomala ΔT istoga područja, na kome su merenja izvršena fluksnim ASG — 46 (sl. 3A) i protonskim aeromagnetometrom G-803 HP (sl. 3B). Očito je da se na karti B anomalno magnetno polje Zemlje ispoljava u mnogo većoj detaljnosti nego na karti A. S obzirom na tačnost izvršenih merenja na karti A nije mogla biti usvojena manja ekvidistancija između izoanomala od 50 gama dok na karti B ona iznosi 5 gama. Na karti B mogla je biti usvojena ekvidistanca i od 2 game, međutim analiza je pokazala da se i sa ekvidistancom od 5 gama na ispitivanom terenu u potpunosti ocrtava postojeća konfiguracija anomalnog polja. S druge strane, rasprostranjenje i intenzitet anomalija u široj oblasti (Šumadija), kojoj pripada i teren obuhvaćen kartom B, upućivali su na ekvidistancu 5 gama kao najpogodniju pa je ona i usvojena, u težnji da se zadrži jedinstvena ekvidistancija za čitavu oblast. Prednost podataka merenja magnetometrom G-803 HP u utvrđivanju konfiguracije anomalnog polja je još očiglednija ako se doda da su ovi podaci ostvareni po maršrutama sa međusobnim odstojanjem od 2 km i pri relativnoj visini leta reda 500 m, dok su merenja sa ASG-46 izvedena pri međumaršrutnom odstojanju od 200 m i relativnoj visini od oko 80 m. Naravno da detaljnije poznavanje anomalnog polja uslovljava znatno adekvatniju kvantitativnu i kvalitativnu interpretaciju, odnosno uslovljava izvlačenje brojnijih i potpunijih geoloških informacija iz aeromagnetskih podataka.

(Predato za štampu marta 1973. god.)

Summary

SLOBODAN VUKAŠINOVIĆ[1]

ON THE MODERN EQUIPMENT FOR HIGH PRECISE AIRBORNE MAGNETIC INVESTIGATION AND THE POSSIBILITIES OF WIDER APPLICATION OF AEROMAGNETIC METHOD IN GEOLOGY

In this paper the author presents a short history about the development of equipments for airborne magnetic investigation giving also the data concerning the modern techniques used for highe precise measurements. In order to illustrate the advantages of high sensitive proton airmagnetometer in comparison with the fluxgate airmagnetometers, the article contains contour maps of ΔT isoanomalies obtained by both fluxgate magnetometer ASG-46 and proton magnetometer G-803 HP in the same area (fig. 3). It was shown that the more detail knowledge of anomalous magnetic field results in the more adequate quantitative and qua-

[1] Institute for geological and mining investigation and exploration of nuclear and other raw materials, Beograd.

litative interpretation, i.e. these airmagnetometric data will give more and better geological informations about investigated area. In conection with this üuestion it was emphasized that the usage of modern techniques contributes to the widespread application of airborne magnetometric method for solving different problems in fundamental and economic geology.

Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina. Sveska 9, 1974. godine

MILORAD ARSENIJEVIĆ UDK: 550.4+549

NEKA ZAPAŽANJA O MOGUĆNOSTI PRIMENE LASERA U MINERALOŠKIM I GEOHEMIJSKIM ISPITIVANJIMA

(Povodom Simpozijuma o laserskom spektralnom mikroanalizatoru LMA-1 firme Karl Zeiss Jena)

U ovom kratkom pregledu prikazaće se mogućnosti i neki eksperimenti sa laserom čvrstih tela ne ulazeći u tehničke detalje. Ovaj osvrt je koristan pogotovu što u ovoj materiji, koja direktno razmatra primenu laserskog izvora (LMA-1, Karl Zeiss Jena) za isparavanje uzoraka u geohemijskim i mineraloškim istraživanjima, nije kod nas do sada bilo nikakvih objavljenih podataka. Istina, u nekim laboratorijama već postoje ovakvi uređaji, ali su radovi sa njima još uvek, moglo bi se reći, u početnoj eksperimentalnoj fazi. Njihova pojava kod nas sigurno obećava da će laserski izvori uskoro da budu predmet brojnih proučavanja. Ovo se odnosi kako na ispitivanje uslova rada sa njima tako i primene pri izučavanju različitih problema u specijalizovanim granama naučnih i primenjenih istraživanja. Koristeći laserske radijacije, odnosno njihov toplotni efekat kojim se postiže temperatura i do 8000° C, omogućava se isparavanje proba vrlo malih površina u veoma kratkom vremenu ekspozicije.

MOGUĆNOSTI KORIŠĆENJA LASERSKOG IZVORA LMA1 U GEOHEMIJSKO-MINREALOŠKIM ISPITIVANJIMA

Poznato je da su električni izvori za isparavanje supstance pri spektrohemijskoj analizi minerala, stena, suvih ostataka voda i drugih materijala, naročito lučni, pokazali svoju vrednost u zavisnosti od zahteva i problema koji se rešavaju. Sagorevanje i isparavanje materijala kod ove metode uvek zahteva prethodnu pripremu, drobljenje i homogenizaciju, kao i prenošenje praškaste probe u krater elektrode. Međutim, izgleda da se time u geohemijskim ispitivanjima dolazi gotovo do granice u onome trenutku kada su u pitanju analize mikrominerala čije se dimenzije mere mikronima ili desetinama mikrona. Takvi minerali se nalaze u stenama i mineralima nosiocima iz kojih ih je teško izdvojiti i nekontaminirane pripremiti. U sulfidnim i drugim mineralnim udruživanjima skreću pažnju sledeći slučajevi:

a.) Prirastanja minerala
b.) Inkluzije
c.) Sitna eksoluciona izdvajanja
d.) Mikrominerali (petrografski preparati)

e.) Raspodela retkih elemenata u mineralima-koncentratorima (polirani i nepolirani presek).

Ispitivanje i utvrđivanje glavnih sastojaka mikrominerala, kao pomoć optičkim metodama, bilo je veoma otežano bez kontrolisanog isparavanja supstance direktno sa kristala, plaže ili zone. Raniji pristup je bio nedovoljno efikasan i opterećen mogućnošću kontaminacije. Uzorak je pripreman u nepogodnim uslovima, jer nikada nije bila poznata debljina plaže iz koje je mehaničkim metodama umizana proba. Očigledno, takvom postupku se suprostavljao problem količine čistog uzorka i dubine do koje se zahvatao željeni mikromineral. Otklanjanje ovih nedostataka postiže se primenom usmerenog isparavanja pomoću laserskog izvora LMA_1.

Već niz godina firma Veb Carl Zeiss Jena proizvodi laserski mikrospektralni analizator LMA_1 u kome je kombinovan laser čvrstog tela, snažni mikroskop uvećanja 32 — 500 puta i varnična ekscitacija.

U laserskoj rezonatorskoj glavi nalazi se štapićasta blic lampa, punjena ksenonom, i laserski rezonator. Blic lampa se napaja preko kondenzatora i služi za dovod energije izazivajući i pomažući interakciju fotona i ekscitiranih atoma u rezonatoru sa ogledalima. U neodijum-staklenom rezonatoru, a koristi se i rubinov kristal, stvara se usmereni monohromatski snop fotona koji se preko prizme i fokusiranjem upućuje na površinu uzorka izabranu pomoću mikroskopa. Neposredno uz takvu radnu površinu, pod izvesnim uglom, postavljaju se i obrađene ugljene elektrode. Ceo sistem se dovodi u optičku liniju spektrografa. Ovakvim postupkom je stvorena mogućnost preciznog odabiranja radne površine na uglačanom i neuglačanom preseku ili petrografskom preparatu (bez pokrovnog stakla).

Uključivanjem celog sistema istovremeno se aktiviraju laserski snop i električna varnica. Pri tome, aktivna širina laserskog snopa, odnosno kratera na probi, može da se podešava od 10 — 250 mikrona sa dubinom do 15 mikrona. Isparena materija bombardovane plaže stvara mikroplazmu oko ugljenih elektroda na kojima simultano dejstvuje varnica. Električna varnica ekscitira atome isparenih sastojaka (jonizacija) čija se emitovana svetlost pomoću kondenzora upućuje na pukotinu spektrografa. Spektri se snimaju na fotografskim pločama specijalne osetljivosti emulzije koja se koristi u astronomskim proučavanjima spektara nebeskih tela (ZU_2, Orwo, i dr.). Razlog za ovo leži u maloj količini isparene materije, ošto laseri ovoga tipa rade u impulsnom režimu veoma kratkog trajanja ilisekunda) emitujući takođe malu količinu varnično pobuđenih atoma zličitih elemenata. Za pojačanje ovih kratkih emisija koriste se i spealni prekidači (Q-swich).

Ovaj izvor i metod isparavanja proba već se uveliko upotrebljava u nnogim zemljama za razna istraživanja (biologija, medicina, arheologija, industrija, kriminalistika, itd.). U našoj zemlji su se takođe pojavile potrebe za ovakvim izvorima koji se mogu pridodati spektrografima različite moći disperzije. Međutim, iskustvo pokazuje da su spektrografi velike disperzije (optički, mrežni i kombinovani) pogodniji od aparata srednje disperzije bar što se tiče sigurnijeg tumačenja spektara.

U radu sa ovim izvorom i analitici za sada se javljaju problemi u količini isparene materije (1 mikrogram), odnosno u osetljivosti pojedinih elemenata, naročito ako se ispituju praškaste probe u vidu pastila. Samo

za nekoliko elemenata, u pomenutom slučaju, dostignuta je osetljivost 10 gr/t (Be, Ag, Sn, Cu i Ge), dok je kod drugih uglavnom osetljivost iznad 100 gr/t. U nekim specijalnim uslovima postiže se osetljivost 10^{-7} ili čak 10^{-13} grama.

Analitika sa ovakvom tehnikom je posebno otežana zbog uslova koje traži pravljenje standarda da bi se analiza dovela na polukvantitativni ili kvantitativni nivo. Ustvari, kod ispitivanja mikrominerala značajno je čak i samo kvalitativno određivanje sastava, a da se i ne govori o polukvantitativnoj diskriminaciji sadržaja pojedinih elemenata radi isticanja glavnih komponenata.

Neki eksperimenti pri demonstraciji LMA[1]

Da bi se bolje sagledale mogućnosti laserskog mikrospektralnog analizatora izvršio sam i neke probne analize pod stručnim rukovodstvom operatora predstavnika firme Veb Karl Zeiss Jena (M. L i t z, hemičar). Ovi eksperimenti su izvedeni sa ciljem direktne primene ove tehnike u oblasti geohemije i mineralogije. Postavljeni su sledeći zadaci:

a.) Ponašanje različitih sadržaja Pb i drugih elemenata u standardnim mešavinama.

b.) Analiza plaže mikrominerala u galenitu i zone amazonita.

U prvom slučaju (a) korišćene su standardne koncentracije Pb i niza drugih elemenata koje su unete u veštačku osnovu sastava srednje kisele stene. Od koncentracija 0,03%, 0,1% i 0,3% preparati su napravljeni u pleksiglasu na taj način što je u udubljenja veličine 1 cm^2 stavljena mešavina standarda i sitnozrnog pleksiglasa. Pod presom uz zagrevanje dobijena je željena pastila. Pastila je, zatim, glačana i kontrolisana u mikroskopu kako se ne bi uništio tanki sloj sa standardom. Isti ili još bolji efekat se postiže kada se u udubljenje sa standardom i zrnastim pleksiglasom doda malo rastvarača pleksiglasa a zatim ispolira.* Tokom poliranja cilj je da se površine sa standardom sačuvaju i ne naruši kontinuitet radnog polja, odnosno izbegnu prazna polja pleksiglasa.

Ovako pripremljena sva tri standarda snimana su pod ustaljenim eksperimentalnim uslovima laserskog snopa i električne varnice (M. L i t z). Svaki laserski imupls, širine 60 mikrona, pogađao je homogene površine standarda u kojima se pod mikroskopom vide dispergovana zrna osnove i čestice mešavine različitih elemenata. Krateri se optički zapažaju, ali je oštećenje standarda praktično neznatno i oni mogu da služe za brojna bombardovanja laserskim snopom.

Varničnom ekscitacijom dobijeni su spektri sve tri standardne koncentracije čijom identifikacijom su utvrđeni sledeći elementi:

Be	(3130 A)	Y	(3327 A)	Ga	(4173 A)	V	(3185 A)
Bi	(3024 „)	Zn	(3345 „)	Cr	(4254 „)	Ge	(3039 „)
Mo	(3171 „)	Ni	(3414 „)	Pb	(4057 „)		
Cu	(3274 „)	Zr	(3438 „)	Sr	(4607 „)		
Ag	(3280 „)	Co	(3453 „)	Ba	(4554 „)		
	(3382 „)	Tl	(3775 „)	Mn	(2939 „)		
Sn	(3262 „)	In	(4101 „)				
Cd	(3261 „)		(4511 „)				

* Preparati su napravljeni u Institutu za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd.

Kao što se vidi, na nivou sadržaja 0,03% utvrđeni su mnogi sastojci. Neki elementi i njihove linije u spektru, koje interferiraju sa linijama drugih elemenata zbog male disperzije spektrografa (Q-24), nisu ovde ni razmatrani. Osim toga, linije navedenih elemenata u inetervalu 0,03 — 0,3% pokazuju jasne razlike u zacrnjenju. Posebno je karakteristična uočljiva razlika između standarda 0,1 i 0,3%. To znači da se ovim putem dostižu uslovi pri kojima je moguće operisati sa radnim krivama za evaluaciju analitičkih podataka. Sa druge strane, osetljivost pomenutih elemenata sigurno se nalazi ispod 0,03%, a naročito za Ag, Be, Mo, Sn, Ge, In, Ga, Ba, Cr, Bi, Mn, Ni, Co, i Cu, čija osetljivost neosporno leži daleko ispod 100 gr/t.

Svakako da se u našem slučaju nije postavljao zahtev utvrđivanja donje granice osetljivosti elemenata, pošto svi uslovi nisu mogli da budu zadovoljeni u toku eksperimenta. Upravo, bilo je dovoljno da se predoči efikasnost laserskog izvora pri direktnom isparavanju materije iz veštačkih standarda kod primene polukvantitativne ili čak kvantitativne analize različitih proba u praškastom stanju pripremljenih na isti način. Ustvari, rad sa ovakvim uzorcima omogućen je samo ako se usitnjena proba unese u pleksiglas ili ako se briketira. U takvim uslovima se može uneti i unutrašnji standard bilo kao kontrola isparavanja ili u svojstvu regulatora uslova kod polukvantitativne i kvantitativne analize.

Međutim, proces pripreme uzorka (prah) ističe teškoće u obradi serijskih geohemijskih proba. Pored toga ograničen je i broj radnih impulsa za neodijum stakleni rezonator (oko 2000) posle čega se vrši njegova zamena. Rubinov rezonator je dugotrajniji, ali je i znatno skuplji.

Uprkos pomenutim nepogodnostima za serijska ispitivanja (tehnika pripreme) moguće je da u bliskoj budućnosti laseri počnu da potiskuju klasične metode isparavanja u spektrohemijskoj tehnici. Ovo je utoliko verovatnije što se javlja prednost u manjoj kontaminaciji uzorka, znatnom slabljenju molekulskih spektara (CN), maloj količini probe i brzini isparavanja materije. Ako bi se, u određenim slučajevima, mala količina isparene materije javila kao nedostatak, ona se može otkloniti na veoma jednostavan i uspešan način. To se može izvesti putem laserskog bombardovanja po sistemu mreže i profila bilo da su u pitanju standardi ili uzorci. Na ovaj način se sistematski dolazi do statističke sredine za sadržaj nekog elementa. Ovo će nekada da bude i neophodno kako bi se povećala verovatnoća pogađanja čestica raznih sastojaka u poređenju sa isparavanjem koje bi nastalo pod dejstvom samo jednog impulsa. Mrežni sistem je naročito pogodan za proučavanje raspodele retkih elemenata u glavnom mineralu koncentratoru ili uopšte mineralima njihovim nosiocima. Veći efekat laserskog snopa se može postići i pomoću gigantskih impulsa superponiranih na istom snimku sa pojedinačnih tačaka ili dobijenih za svaku tačku na profilu. Moguće je, osim toga, da se koristi i do 25 impulsa na jednom krateru prouzrokujući veću osetljivost elemenata uz promenu elektroda kod svakog impulsa.

Drugi obrađivan problem (b) sastojao se u bombardovanju laserom eksolucionih izdvajanja u galenitu iz Pb-Zn ležišta Rudnik i zelene i bele zone na amazonitu iz pegmatita Čanište (Makedonija).

Koncentrat galenita iz bušotine (3R) prepariran je u pleksiglasu i ispoliran. U mikroskopu se zapažaju brojna izdvajanja veličine od neko-

liko mikrona do nekoliko desetina mikrona. Izabrana je plaža prečnika do 60 mikrona i izložena laserskim radijacijama pod istim uslovima kao i u ranijem eksperimentu (standardi). Identifikacijom spektra kao glavni sastojci u laserom pogođenoj plaži utvrđeni su Bi, Pb i Ag. Upoređujući linije ovih elemenata sa istim u standardima očigledno je da njihovi sadržaji prelaze ne samo 0,3% već daleko nadmašuju i 1%. Svi drugi elementi se nalaze ispod granica sadržaja koji bi ih uvrstili u glavne komponente ispitivanog mikrominerala u zrnu galenita. Iz toga izlazi da ova tri elementa, ne računajući S, definišu glavni sastav analizirane plaže s obzirom da Sb i Te nisu zapaženi iako se njihovi minerali sreću u paragenezama.

Značajno je istaći da su na tome istom preparatu vršena mikroskopska određivanja i pomenuta izlučivanja su identifikovana kao mešavina metalnog bizmuta i matildita ($Ag_2SBi_2S_3$) — šapbahita ($PbSAg_2SBi_2S_3$). S obzirom i na naše podatke neosporno je reč o mešavini sulfosoli Pb, Bi i Ag, kao i o metalnom bizmutu, upravo o onim mikromineralima koje je 1958. godine određivao S. Rakić, a kasnije S. Rakić i D. Kleut (1971). Utvrđivanje sadržaja ovih elemenata za sada nije izvodljivo po ovome metodu, jer je potrebno uspostaviti optimalne uslove analize.

U slučaju amazonita pokazalo se da sadržaj Pb u beloj zoni pada ispod 0,03%, a sadržaj ovoga elementa u zelenoj zoni prelazi 0,03% i ne dostiže 0,1%. To znači da se ovom metodom jasno uočava obogaćenje olovom zelene amazonitske zone u odnosu na beli granični pojas mikroklina. Zakonitost raspodele Pb u ovome mineralu izučen je našim ranijim ispitivanjima po sasvim drugom metodu.

Prema dosadašnjem stepenu razvoja laserske tehnike isparavanja materije, kombinovane sa spektrohemijskom, javljaju se dosada nepoznate mogućnosti za selektivnu analizu zrna, kristala i zona u mineralima ili, pak, analizu uzoraka različite vrste i različitih dimenzija i oblika bez vidljivog oštećenja. Iako veoma mlada metoda, ona se već prikazuje kao značajno pomoćno sredstvo u optičkim i geohemijskim ispitivanjima, kao i u drugim granama prirodno-tehničkih nauka.

(Predato za štampu decembra 1973. god.)