

EKSPLOATACIJSKO RAZISKOVANJE V URANOVEM RUDIŠČU ŽIROVSKI VRH

Veljko Omaljev

Z 22 slikami med tekstem

VSEBINA

Uvod	107
Kratek opis geološke zgradbe rudišča	108
Stratigrafija	108
Tektonika	110
Orudenjenje z uranom	112
Geološko tektonski zlog	113
Projekt eksploatacijskega raziskovanja	115
Odkopna polja	115
Odpiralna in pripravljalna dela	115
Odkopavanje rude	121
Eksploatacijsko raziskovanje rudišča	122
Odpiralni in pripravljalni hodniki	124
Odkopavanje rudnih leč	127
Odkopno polje A	129
Odkopno polje B	134
Odkopno polje C	141
Dokumentacija o eksploatacijskem raziskovanju	145
Povzetek	148

UVOD

V začetku novembra 1963 smo v Trebiji pri Gorenji vasi na skupni seji strokovne komisije zvezne komisije za jedrsko energijo in strokovnega sveta zavoda za jedrske surovine — sektorja za raziskovanje jedrskih in drugih mineralnih surovin pregledali uspešnost metod detajlnih raziskav v uranovem rudišču Žirovski vrh.

Osnovna metoda detajlnega raziskovanja prvega rudonosnega paketa je bil izkop prečnikov v razmikih 50 do 100 m. Iz prečnikov smo nato na vsakih 5 metrov vrtali udarne vrtine. Prevrtane rudonosne plasti so

bile debele povečini pod 1 m, odstotek urana pa se je spreminjal v zelo širokih mejah. Kontinuirnost prevrtanih rudnih teles ni bila jasno izražena niti po smeri niti po vpadu. Posamezne rudne nivoje v vrtinah je bilo možno različno povezovati. Zato smo morali bolj nadrobno raziskati obliko in velikost rudnih teles.

Obliko in velikost posameznih rudnih teles bi bili mogli nadrobneje raziskati na dva načina:

1. z zgostitvijo prečnikov in vrtin,
2. z delnim ali popolnim odkopom posameznih rudnih teles.

Prevladalo je mišljenje, da bomo po drugem načinu dobili nove podatke, brez katerih rezultati zgoščenih raziskovalnih del ne bi bili zadovoljivi. Zato so na seji v Trebiji sklenili, da se poleg detajlnih raziskav, ki bodo v bogatejših delih rudišča obsegale tudi zgostitev del, izdela načrt za eksploatacijsko raziskovanje prvega rudonosnega paketa.

Odkopavanje rudnih teles naj bi se izvedlo v dveh ali treh delih jame na obzorju 580 m. Prva lokacija je bila predvidena v tistem delu jame, ki je bil takrat že raziskan, druga na območju vrtine B-11, kjer smo pričakovali bogata rudna telesa, in tretja na območju vrtine B-7, kjer je stopnja orudenosti najnižja.

Za eksploatacijsko raziskovanje smo izbrali območje vrtine B-1 med prečnikoma H-11 in H-21, veliko okrog 100 m × 100 m (sl. 3). Projekt rudarskih del je izdelal Ignac Gornik s sodelovanjem V. Jakanovića in V. Omaljeva. Med izvajanjem del je V. Omaljev prilagajal projekt geološkim razmeram — smeri in vpadu rudonosnih plasti ter obliki rudnih teles. Jamomerska dela je opravil S. Perović. Na čelih raziskovalnih hodnikov in na odkopih so vzorčevali in omejevali rudo geološki tehniki G. Mijač, R. Nedeljković in A. Šurdić. Odkopano rudo je masovno vzorčeval V. Arsenović. Pri izdelavi geološke dokumentacije o rezultatih eksploatacijskega raziskovanja in pri statistični obdelavi podatkov o vzorčevanju rude mi je veliko pomagal geološki tehnik R. Nedeljković, ki se mu lepo zahvaljujem.

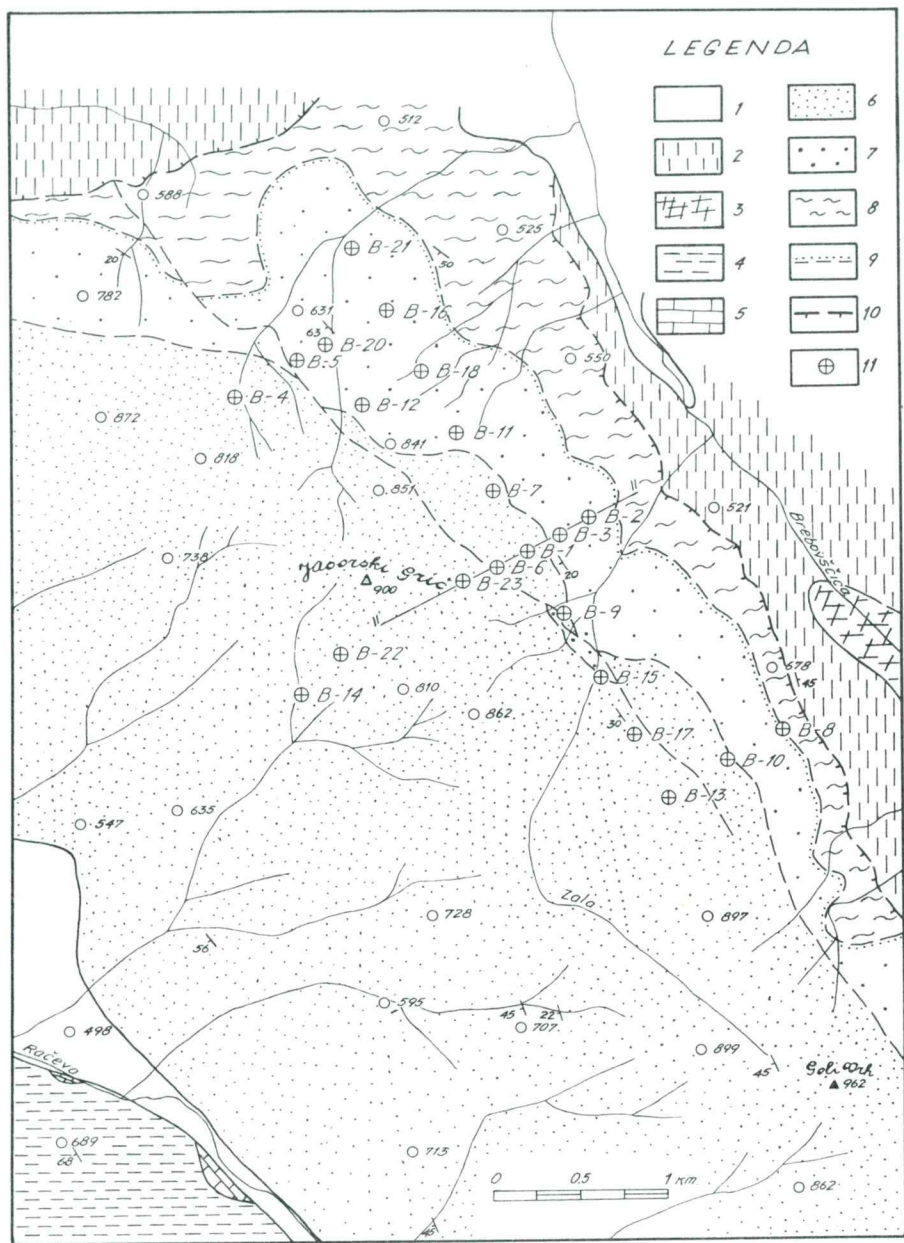
KRATEK OPIS GEOLOŠKE ZGRADBE RUDIŠČA

Stratigrafija

Žirovski vrh se nahaja okrog 30 km zahodno od Ljubljane in nekaj kilometrov južno od Gorenje vasi. Na njegovem severovzhodnem pobočju so leta 1960 našli orudenjenje z uranom (Ivanović, 1961). Odkar je bila na Žirovskem vrhu odkrita povečana radioaktivnost, se neprekinjeno izvajajo raziskovanja v uranovem rudišču.

Prve geološke podatke o tem območju najdemo v tolmaču h geološki karti Škofja Loka—Idrija (Kossmat, 1910).

Potem ko je bilo najdeno uranovo orudenjenje, so o njegovem območju pisali v poročilih in objavljenih delih številni raziskovalci. Najpomembnejša dela so: Ivanović, 1961; Jakanović, 1962, 1963 in 1964;



Sl.1. Geološka karta uranovega nahajališča Žirovski vrh po P. Marinkoviću in V. Omaljevu

Fig.1. Geologic map of uranium deposit of Žirovski Vrh after P. Marinković and V. Omaljev

1 Aluvij, 2 zgornja triada, 3 srednja triada, 4 spodnja triada, 5 zgornji perm, 6 rdeče grōdenske plasti (srednji perm), 7 sive grōdenske plasti (srednji perm), 8 glinasti skrilavec, 9 erozijska diskordanca, 10 nariv, 11 vrtina

1 Alluvium, 2 Upper Triassic beds, 3 Middle Triassic beds, 4 Lower Triassic beds, 5 Upper Permian beds, 6 Red Grōden beds (Middle Permian), 7 Gray Grōden beds (Middle Permian), 8 Clay slate, 9 Nonangular unconformity, 10 Overthrust, 11 Borehole

Omaljev, 1963, 1964, 1965, 1966 in 1967; Vukasović, 1963; Radusinović, 1967 ter Simić, 1967.

Podlaga rudišča sestoji iz sivega do črnega glinastega skrilavca, ki je doslej veljal za srednjekarbonskega. Paleontoloških dokazov o njegovi starosti nimamo, možno pa je, da je mlajši, kot smo mislili do sedaj. Ponekod vsebuje skrilavec vložke črnega ali sivega peščenjaka in konglomerata. Debelina teh plasti ni znana, vsekakor znaša več kot nekaj 100 m.

Na glinastem skrilavcu leže grödenske plasti peščenjaka in konglomerata, redkeje tudi skrilavca. Fossilni ostanki v njih niso ohranjeni, po korelaciji z enakimi skladi v Karavankah pa jih štejemo v srednji perm. Neposredno na grödenskih plasteh ležita belerofonski apnenec in dolomit zgornjepermske starosti. Grödenske plasti so različno debele, najpogosteje nad 500 metrov.

Grödenske plasti so sive in rdeče (sl. 1). Sive leže neposredno na glinastem skrilavcu, vmes verjetno manjka del spodnjepermskih skladov, vendar geološke razmere v tem pogledu niso dovolj jasne. Litološko sestojijo v glavnem iz sivega peščenjaka in konglomerata s tankimi vložki rdečega peščenjaka in skrilavca (sl. 2). Sive plasti so debele 200 do 400 metrov. Uranovo orudenje je v genetski zvezi s sivim peščenjakom in konglomeratom.

Rdeče plasti v glavnem sestojijo iz rdečega peščenjaka, konglomerata in skrilavca, ki predstavljajo krovino rudonosnih sivih plasti. Iz njih je zgrajen največji del Žirovskega vrha.

Na grödenskih skladih ležita belerofonski apnenec in dolomit z bogato favno, ki dokazuje zgornjepermsko starost. Belerofonske plasti se pojavljajo med grödenskimi in werfenskimi skladi, vendar niso kontinuirane.

Proti jugozahodu se zaporedje plasti normalno nadaljuje (spodnja triada), proti severu, severovzhodu in vzhodu pa je stik paleozojskih in triadnih sedimentov tektonski (srednja in zgornja triada).

Tektonika

Žirovski vrh z okolico leži v območju velikih narivov in lusk; zato je njegova tektonska zgradba zamotana. Paleozojske plasti, v katerih se nahaja rudišče, so odtrgane od svojega korena in narinjene na zgornjetriadne sedimente (sl. 1 in 2). Del porušenega rudišča v narivu so odnesle površinske vode, ostanek pa se je ohranil na Žirovskem vrhu. Sklepamo, da je bil na sedanjem severovzhodnem prostoru erodiran obodni, siromašnejši del rudišča.

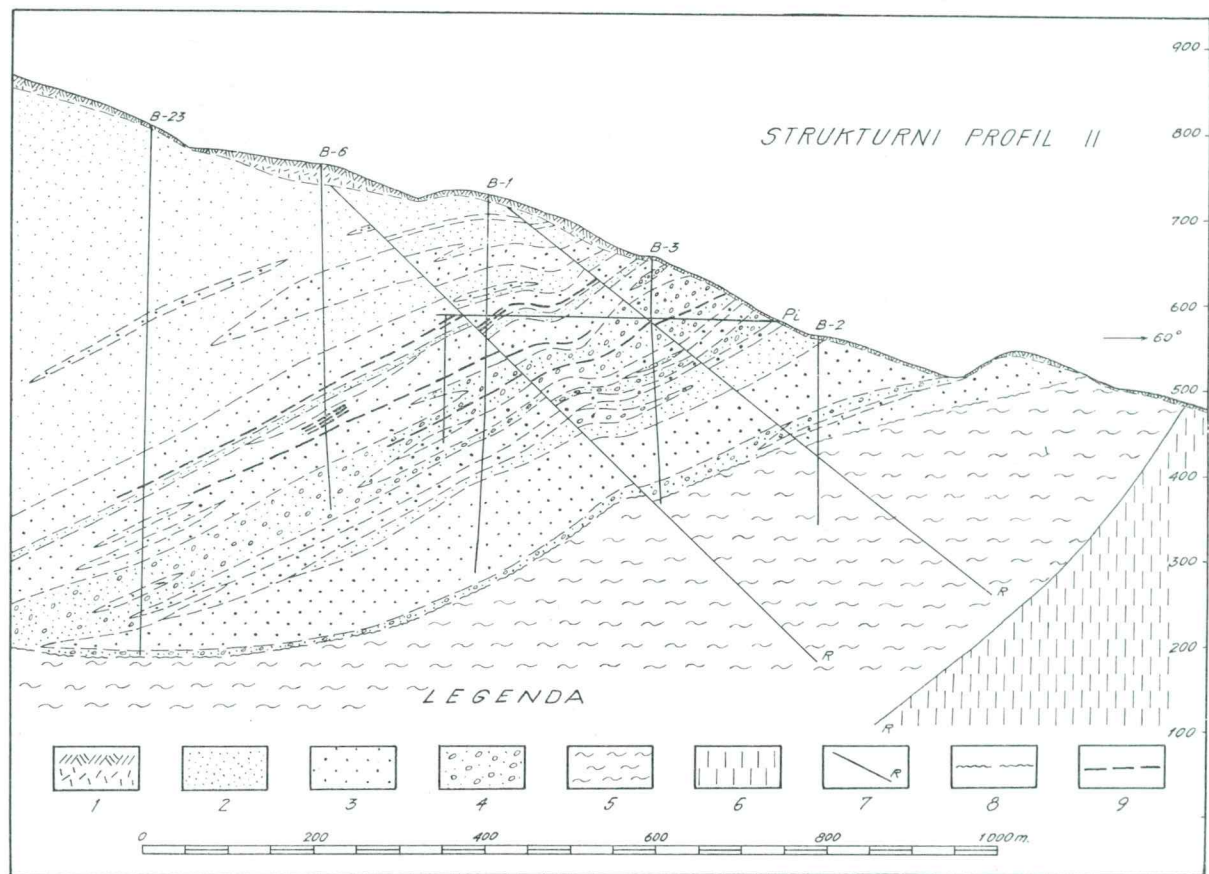
Osnovna struktura rudišča je bila najprej interpretirana kot potopljena sinklinala (Omaljev, 1964). Raziskave so to interpretacijo delno potrdirile (prevrnjena sinklinala na obzorju 580 m).

V dosedanjih rudarskih delih smo opazili pokončne, poševne in prevrnjene gube.

Močni pritiski na plasti rudišča so povzročili disjunktivne strukture, od katerih je najpomembnejši nariv. Prelomi v rudarskih prostorih najpogosteje vpadajo proti severovzhodu. Enako vpada tudi diferencialna skrilava klivaža (Omaljev, 1967), ki je najznačilnejši strukturni ele-

Sl. 2. Prečni profil rudišča Zirovski vrh
 Fig. 2. Cross section of Zirovski Vrh ore deposit

1 deluvij, 2 rdeči peščenjak, 3 sivi peščenjak, 4 sivi konglomerat, 5 glinasti skrilavec, 6 rabeljski skrilavec (zgorajšetrjadni), 7 prelom, 8 erozijska diskordanca, 9 uranova ruda
 1 Deluvium, 2 Red sandstone, 3 Gray sandstone, 4 Gray conglomerate, 5 Clay slate, 6 Rabelj slate (Upper Triassic), 7 Fault, 8 Nonangular unconformity, 9 Uranium ore



ment rudišča. Premiki ob klivažnih ploskvah so povečini normalni, redkeje reverzni; to verjetno velja tudi za prelome istega sistema. Amplitude premikov ob klivažnih ploskvah imajo milimetrške in centimetrške dimenzije, ob prelomih v jami pa decimetrške in metrske. Na obzorju 580 m je prelom z amplitudo nad 10 metrov.

Orudenenje z uranom

Uranovo orudenenje je samo v sivem psamitu in psefitu, tako da siva barva pomeni njegovo geokemično kontrolo. V rdečem peščenjaku nismo opazili povečane radioaktivnosti.

Uranovo orudenenje je monomineralno, če izvajamo oksidacijsko cono s sekundarnimi, barvnimi uranovimi minerali. Od uranovih mineralov je razvita samo drobnnozrnata smolnata ruda v lepilu sivega peščenjaka in konglomerata (Radusinović, 1967). Orudenenje z uranom je vzporedno s plastovitostjo (Omaljev, 1965 in 1967). Smolnato rudo spremljajo pirit, halkopirit, galenit in sfalerit. Ti sulfidi so pogostni tudi v sterilnih delih peščenjaka in konglomerata, posebno v zvezi z antracitom.

Koncentracija urana v rudi ni enakomerna, temveč se spreminja v zelo širokih mejah. Najpogosteje je tako majhna, da na oko orudenega peščenjaka ne ločimo od jalovine. Izjemno je koncentracija tako velika, da orudene dele spoznamo po črni barvi, ki pomeni zelo bogato rudo. V rudišču pa je pogost tudi sterilni črni peščenjak, zato je potrebna instrumentalna detekcija rude.

Oblika rudnih teles je tako komplicirana, da se niti z detajlnimi raziskavami ne da zadosti natančno določiti (Omaljev, 1966). Posamezno rudno telo je možno omejiti le na podlagi vzorčevanja. Ker je bilo rudišče v glavnem raziskano le z vrtanjem in merjenjem žarkov gama, le majhen del pa tudi z rudarskimi deli, prave oblike rudnih teles niso bile znane. Rudna telesa so sicer vzporedna s plastovitostjo, toda stopnja neenakomernosti rudne koncentracije v orudeni plasti je visoka, povečini nad $\pm 150\%$, znotraj konture, kjer odstotek urana presega $0,03\%$, pa ± 80 do 150% . Ta rudna kontura v rudonosni plasti, debeli več metrov, ima pogosto zamotano obliko, ki jo je treba raziskati.

Rudno telo sestoji iz več rudnih leč različnih dimenzij; pri tem lahko vmesne prostore zanemarimo le, če so majhni. Da omejimo takšno rudno telo, potrebujemo mnogo podatkov in vzorcev.

Struktura rudnih leč je ponekod trakasta, drugod masivna. Rudne koncentracije v trakovih predstavljajo tanke plasti. Dimenzije orudenih trakov so različne, njihova velikost se računa v metrih.

Oblika in velikost rudnih leč ter odstotek urana v njih so odvisni od velikosti in gostote orudenih trakov. Kjer so obstajali pogoji za enakomerno mineralizacijo, tam je nastala masivna ruda.

Velikost posameznih rudnih leč je različna, znaša nekaj metrov do več deset metrov. Detajlna raziskovanja so pokazala, da so dimenzije rudnih leč, in posebno rudnih teles, večje po smeri kot po vpadu. Razmerje dimenzij po vpadu in smeri se spreminja v širokih mejah od 1:2 do 1:10.

V vertikalnem stratigrafskem profilu zazvzema uranovo orudenenje določen prostor, ki ga imenujemo orudeni pas (Omaljev, 1967). Njegova debelina je različna, znaša 60 do 150 metrov. Uranovo orudenenje je najpogostejše v II. in III. sedimentacijskem ritmu grōdenskih plasti.

Najvišji stratigrafski nivo orudenega pasu smo označili, kot I. rudonosni paket. Njegove rudonosne plasti so na površini 1400×70 do 150 metrov (Omaljev, 1966) detajlno raziskane z rudarskimi deli in jamskim vrtanjem neenakomerne gostote. Nekateri deli raziskovalnega prostora vsebujejo bogato uranovo rudo, v drugih pa je ruda siromašna.

Na območju površinske vrtine B-1 (sl. 1, 2 in 3) so detajlno raziskane rudne plasti I. paketa s sorazmerno velikimi in bogatimi rudnimi telesi. Rudna telesa so v glavnem raziskana z vrtinami, manjši del pa tudi z rovi. Ta prostor je bil primeren za poskusno odkopavanje.

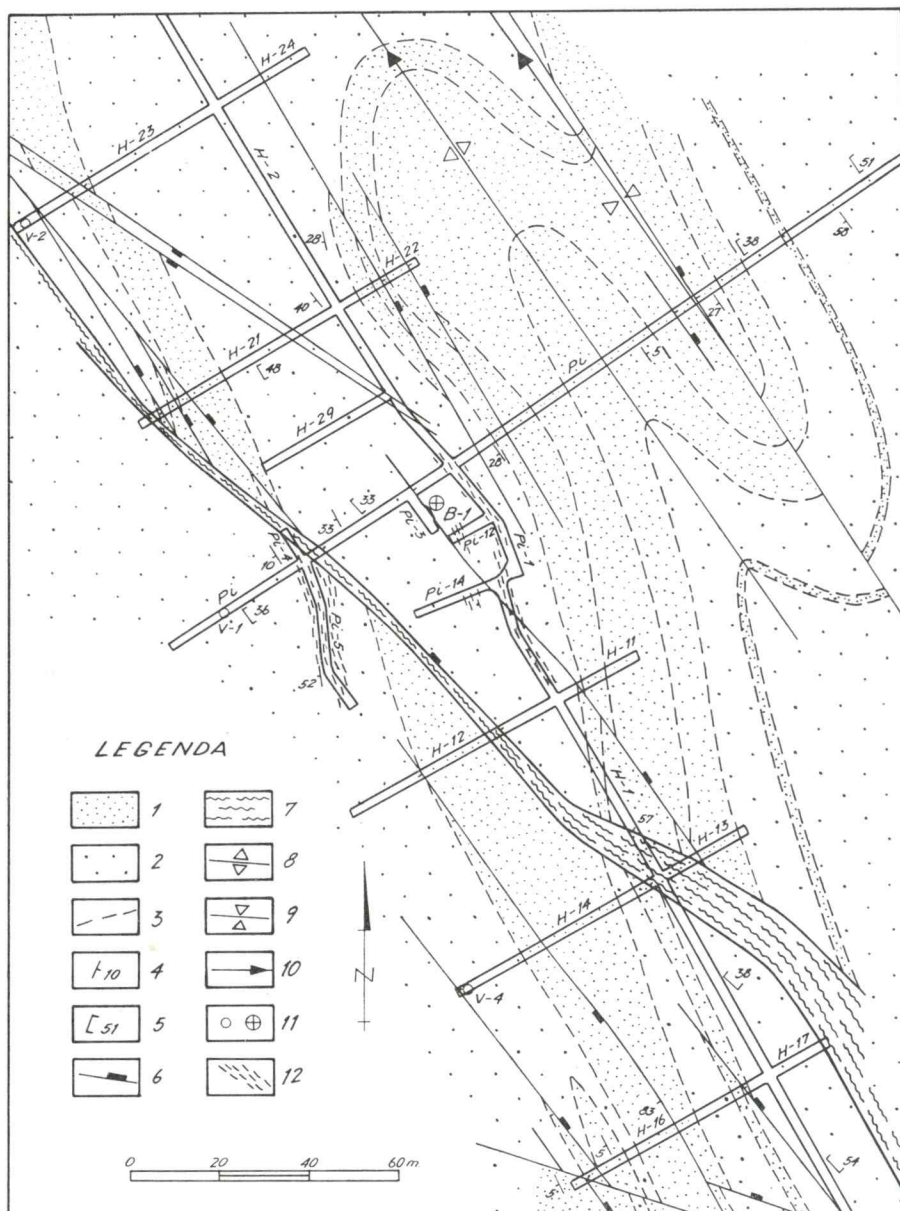
Geološko tektonski zlog

Sivi peščenjak III. sedimentacijskega ciklusa je na prostoru, določenem za raziskovanje, litološko jasno omejen s talninskim in krovninskim rdečim peščenjakom (sl. 2 in 3). Rudne plasti I. paketa se nahajajo v spodnji polovici tega litološkega člena. Rudne leče so po smeri raziskane z rudarskimi deli na obzorju 580 m. Uranovo rudo so sledili na skupni dolžini nad 60 m v raziskovalnih hodnikih *Pi-1*, *H-1*, *H-2*, *Pi-4* in *Pi-5*. Po vpadu so rudo sledili s hodniki *Pi*, *Pi-12* in *Pi-14* v nivoju obzorja, medtem ko so rudo nad obzorjem in pod njim raziskovali z jamskim udarnim vrtanjem v rovu *Pi* in v prečnikih, delno tudi v smernem hodniku *H-1*. Rudna telesa so vzporedna s plastovitostjo in vpadajo proti jugozahodu pod kotom 20° do 40° . Rudna telesa so po vpadu kontinuirana na dolžino 5 do 25 metrov. Kontinuirnost po smeri pa ni jasno ugotovljena; z rudarskimi deli smo orudenenje sledili na razdalji 10 do 30 metrov, predpostavljali pa smo dolžino 10 do 100 metrov. Predvidevali smo, da posamezne rudne leče vsebujejo 100 do 1000 ton rude, rudna telesa, ki vsebujejo le tanke vmesne jalove plasti, pa več tisoč ton rude.

Rudonosne plasti so prekinjene z večjim diagonalnim prelomom, ki ima nasprotni vpad kot skladi. Amplituda premikov ob njem znaša nad 10 metrov. Zaradi tega preloma smo na obzorju 580 m z rudarskimi raziskovalnimi deli dvakrat zadeli na rudonosne plasti.

Debelina prelomne cone znaša 1 do 5 metrov. Stopnja milonitizacije pada z naraščanjem debeline prelomne cone. Drugi prelomi so manjši; amplitude premikov ob njih znašajo le nekaj decimetrov. Teh prelomov v geoloških načrtih ni treba upoštevati. Ponekod je v kameninah močno razvita skrilava diferencialna klivaža. Prek 80 % prelomov in razpok ter celotna klivaža vpada proti severovzhodu, torej v nasprotni smeri kot plasti.

Poroznost kamenin obstoji iz razpok. Podzemeljska voda se nahaja v razpokah, le redko v prelomih. Prelomne cone so navadno neprepustne za vodo (vključno večji prelom). V sorazmerno neporušenem krilu pod prelomom je voda pod pritiskom (izvira iz nekaterih udarnih vrtin v hodnikih *H-12*, *H-14* in *H-16*).



Prelomi, razpoke in klivaža so nastali po mineralizaciji in ne vsebujejo uranovega orudenjenja, ponekod se najdejo v njih sulfidi.

Odstotek urana v rudi se skokovito spreminja že na kratke razdalje. Prehod iz jalovine v rudo je prav tako skokovit, meja je pogosto sorazmerno ostra. Ruda se na oko ne razlikuje od jalovine, odkriti jo je možno samo z instrumenti.

PROJEKT EKSPLOATACIJSKEGA RAZISKOVANJA

Odkopna polja

Na podlagi geološko tektonskega zloga smo del rudišča, določen za eksploatacijsko raziskovanje, razdelili na odkopna polja. Vsako odkopno polje ima svoja odpiralna in pripravljalna rudarska dela. Odkopna polja so naslednja:

Odkopno polje A (sl. 4, 5, 12),

Odkopno polje B (sl. 4, 6, 8, 17),

Odkopno polje C (sl. 4, 7, 19).

Odkopno polje A je v sorazmerno neporušenem krilu preloma pod obzorjem 580 m. Raziskano je z jamskimi udarnimi vrtinami iz rova *Pi* (sl. 5). Prevtane rudne leče so sorazmerno debele, a imajo nizek odstotek urana.

Odkopno polje B je v sorazmerno porušenem delu krila preloma pod obzorjem 580 m. Raziskano je z jamskimi udarnimi vrtinami iz rova *Pi* in hodnikov *H-1* in *H-29* (sl. 5, 6 in 8). V nekaterih profilih je odstotek urana povprečen (*H-1*), v nekaterih nadpovprečen (*Pi*, pri manjši debelini), a drugod nižji (*H-29*, pri večji debelini).

Odkopno polje C je na obzorju 580 m in sega do + 10 m nad to obzorje. Ruda je raziskana z rudarskimi deli *Pi-1* in *H-1* ter z jamskimi udarnimi vrtinami iz hodnikov *H-1* in *H-11* (sl. 7 in 8). Rudna telesa imajo precejšnjo debelino in povprečno vsebnost urana.

Odpiralna in pripravljalna dela

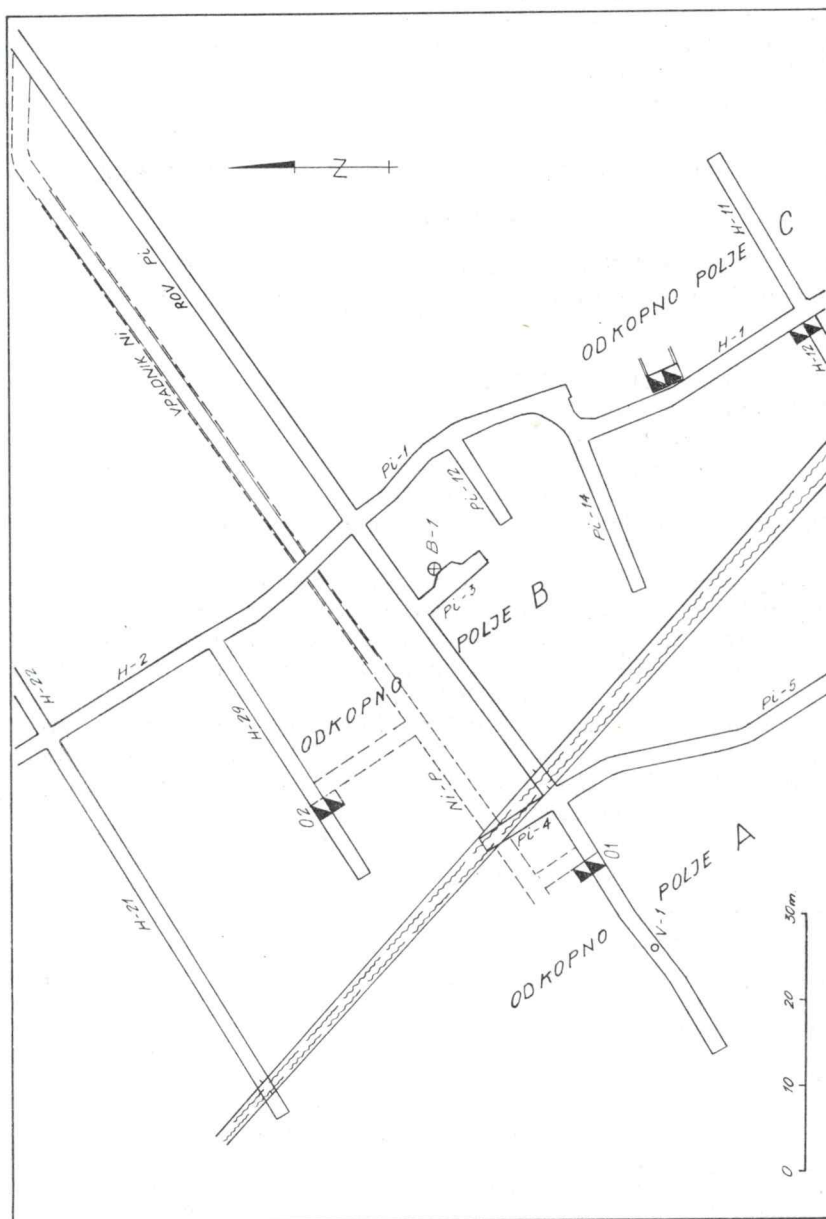
Odkopni polji A in B sta odprti z vpadnikom do nivoja 555 m (25 m pod obzorjem), kjer s hodniki odpirajo odkopna polja. Na tem horizontu je projektirana črpalna postaja z zbiralnikom. Zmogljivost črpalke je 250 l/min pri tlačni višini 25 m. Vpadnik je opremljen z vitlom za izvoz jamskih vagončkov.

Sl. 3. Geološka karta horizonta 580 m

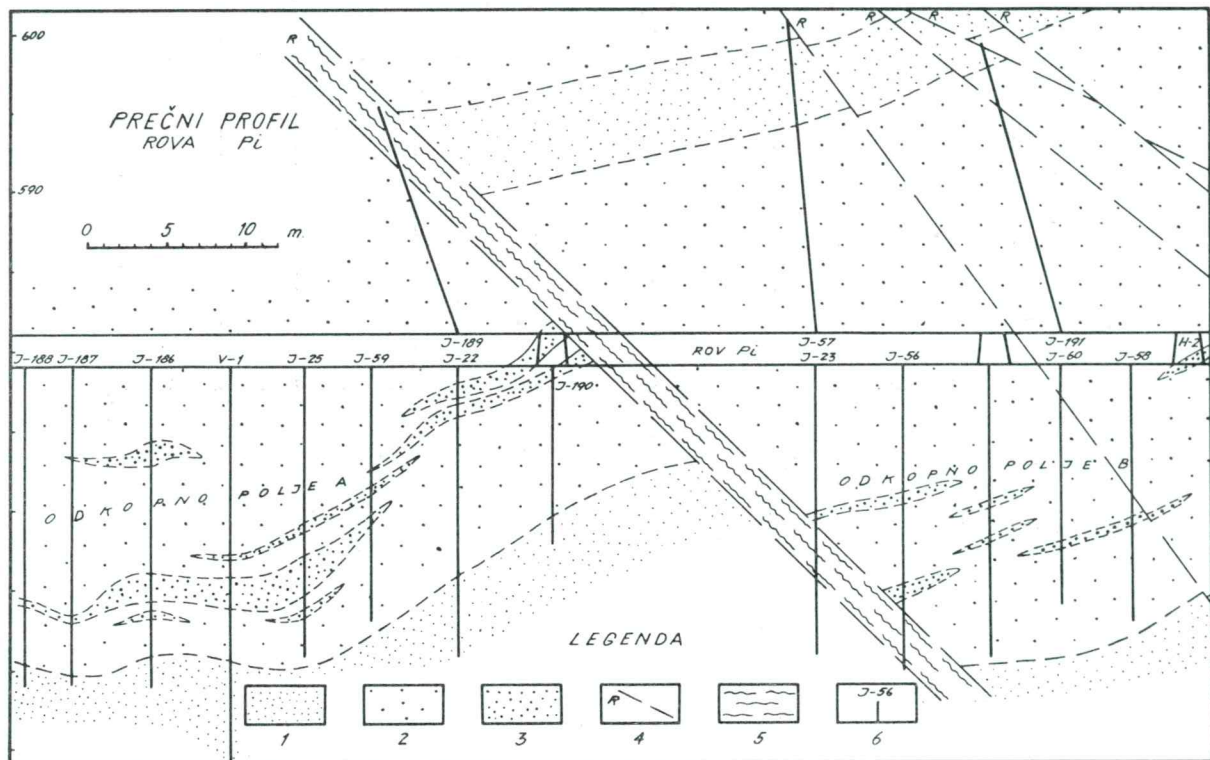
Fig. 3. Geologic map of the level 580 meters

1 rdeči peščenjak, 2 sivi peščenjak, 3 meja plasti, 4 smer in vpad plasti, 5 smer in vpad klivaže, 6 prelom, relativno spušen blok, 7 prelomna cona, 8 os anti-klinale, 9 os sinklinale, 10 vpad osi gub, 11 vrtina, 12 uranova ruda

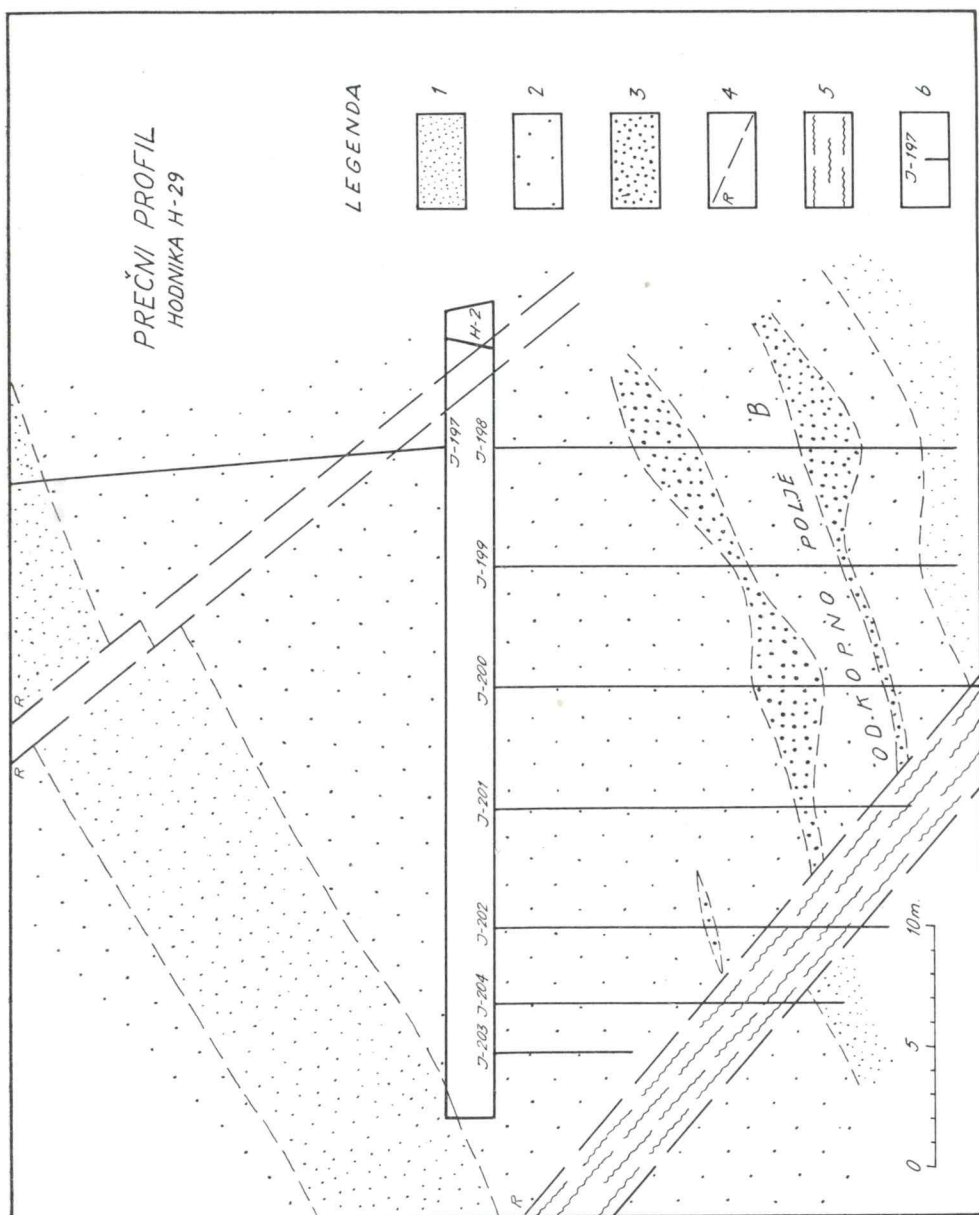
1 Red sandstone, 2 Gray sandstone, 3 Boundary plane separating the beds, 4 Strike and dip of beds, 5 Strike and dip of cleavage planes, 6 Fault, relatively downthrown block, 7 Fault zone, 8 Anticlinal axis, 9 Synclinal axis, 10 Dip of fold axis, 11 Borehole, 12 Uranium ore



Sl. 4. Načrt pripravljanih del in odkopnih polj (po I. Gorniku)
 Fig. 4. Project of mine development and of stopping areas (after I. Gornik)



Sl. 5. Prečni profil raziskovalnega rova P_i
 Fig. 5. Cross section of the P_i main adit
 1 rdeči peščenjak, 2 sivi peščenjak, 3 uranova ruda, 4 prelom, 5 prelomna cona,
 6 vrtilna
 1 Red sandstone, 2 Gray sandstone, 3 Uranium ore, 4 Fault, 5 Fault zone,
 6 Bore hole

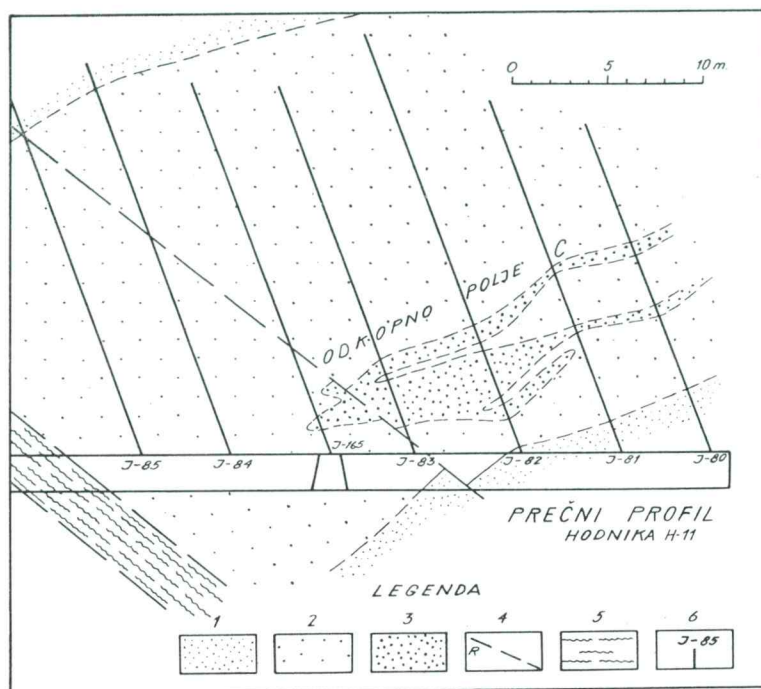


Sl. 6. Prečni profil hodnika H-29

Fig. 6. Cross section of the gallery H-29

1 rdeči peščenjak, 2 sivi peščenjak, 3 uranova ruda, 4 prelom, 5 prelomna
cona, 6 vrtina

1 Red sandstone, 2 Gray sandstone, 3 Uranium ore, 4 Fault, 5 Fault zone,
6 Bore hole



Sl. 7. Prečni profil hodnika H-11

Fig. 7. Cross section of the gallery H-11

- 1 rdeči peščenjak, 2 sivi peščenjak, 3 uranova ruda, 4 prelom, 5 prelomna cona, 6 vrtina
- 1 Red sandstone, 2 Gray sandstone, 3 Uranium ore, 4 Fault, 5 Fault zone, 6 Bore hole

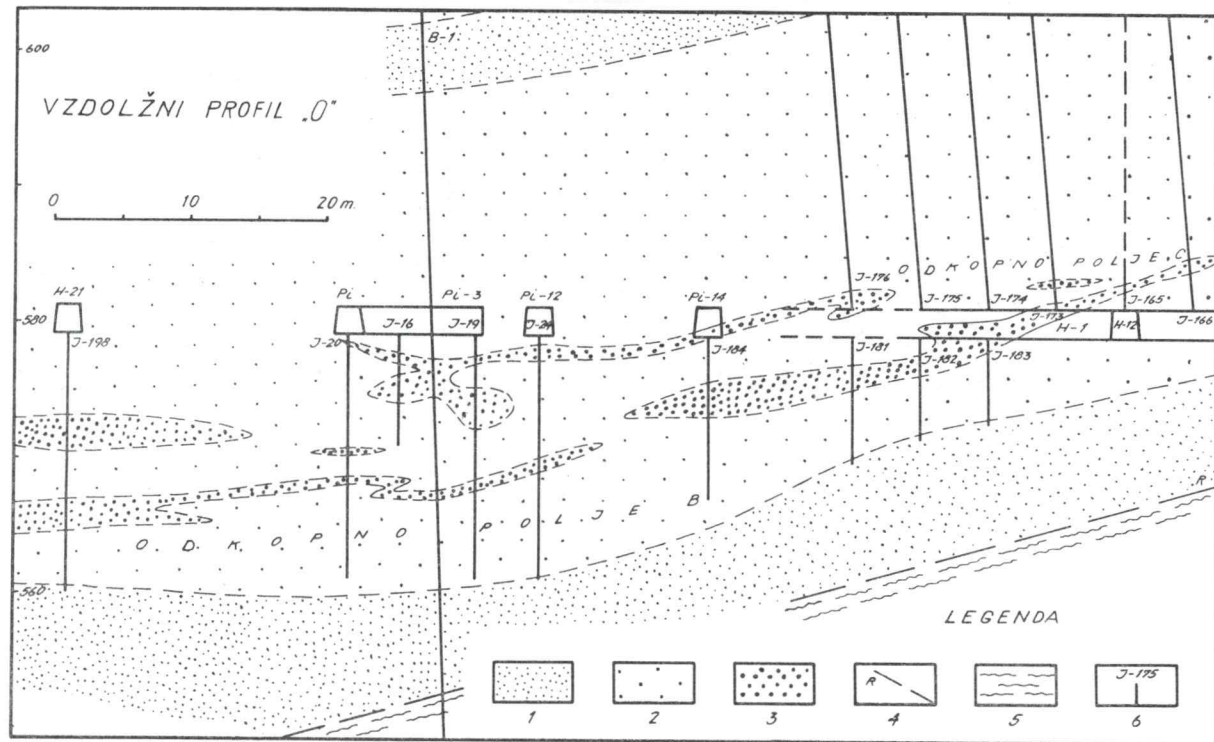
Odkopno polje A je odprto z majhnim jaškom, globokim 10 metrov (do kote 565 m), ki poteka skozi prelomno cono. Dno jaška je v talninskem rdečem peščenjaku, v rudonosne plasti pa vodi hodnik v smeri vpada pod rovom *Pi*. Ko preseka rudonosne plasti, se hodnik konča.

Iz odpiralnega hodnika *O₁-P* kopljejo pripravljalne hodnike vzporedno s smerjo rudnih teles.

Zaradi zračenja in drugih izhodov je vmesno obzorje 565 m z nadkopom *U-1* zvezano z obzorjem 580 m. Nadkop je speljan v hodnik *Pi-5*.

Odkopno polje B je odprto z majhnim jaškom *O₂*, globokim 10 metrov, ki se konča v prelomni coni na koti 565 m. V rudonosne plasti vodi hodnik *O₂-P*, ki preseka rudne nivoje.

Iz odpiralnega hodnika so speljani pripravljalni hodniki za odkop rude. Do obzorja 580 m vodi nadkop *U-29*, ki poteka delno v rudi in se odpira v hodnik *H-29*. Iz nadkopa gre tudi pripravljalni hodnik vzporedno s smerjo rudnih plasti.



Sl. 8. Detajl vzdolžnega profila "O"
 Fig. 8. Detail of longitudinal section "O"
 1 rdeči peščenjak, 2 sivi peščenjak, 3 uranova ruda, 4 prelom, 5 prelomna cona, 6 vrtna
 1 Red sandstone, 2 Gray sandstone, 3 Uranium ore, 4 Fault, 5 Fault zone, 6 Bore hole

Odkopno polje C je odprto z nadkopom iz hodnika H-12. Iz nadkopa vodita smerni pripravljalni hodnik (vzporedno s H-1) in nadkop (nad hodnikom H-11).

V odpiralnih in pripravljalnih rudarskih delih je projektirana separatna tlačna ventilacija, za odvajanje izrabljenega zraka pa so v vpadniku in v jaških instalirane cevi ϕ 300 mm. Po izkopu nadkopov U-1 in U-29 pa se bo vzpostavil naravni vlek. Za pripravljalna dela in odkope je predvidena separata ventilacija do naravnega vleka. Zračenju se posveča posebna pozornost zaradi radioaktivnega sevanja.

V projektu so obdelana tudi druga tehnična rudarska dela za izkop prog in odkopavanje rude. S temi problemi se v našem članku ne bomo podrobneje ukvarjali, temveč le z geološko tektonsko zgradbo rudišča, z obliko in položajem rudnih teles ter z njihovim raziskovanjem in odkopavanjem.

Odkopavanje rude

Kamenina, ki vsebuje uranovo orudenjenje, je zelo trda in jedra. Zato je s projektom predvideno odkopavanje brez zasipa. Zaradi varnosti praznih jamskih prostorov so projektirani varnostni stebri. Na vsakih 100 m² odkopane površine je predviden po en varnostni steber s površino 4 m². Varnost bodo povečale jalovinske plasti in neodkopani deli s siromašnejšo rudo (pod 0,03 % U). Če pa bi odkopavali tudi jalovino in siromašnejše orudene dele, bi s tem materialom zasipavali prazne prostore odkopov.

Da bi med odkopavanjem mogli ločiti rudo od jalovine, uvajamo poseben sistem dela v zaporedju posameznih faz odkopavanja:

— Pred vsakim odstreljevanjem odkopno čelo radiometrično vzorčujemo in na podlagi vzorčevanja omejimo orudene dele. Rudo označimo z odstotnimi izolinijski, izolinja z 0,03 % U razmejuje rudo in jalovino, oziroma siromašno orudenjenje. O vzorčevanju izdelamo dokumentacijo v ustreznem merilu.

— Iz podatkov o radiometričnem vzorčevanju izračunamo povprečni odstotek in količino rude, ki pride v poštev za odkopavanje. Rezultate vpišemo v posebne obrazce.

— Po odstrelitvi kontroliramo količino in kvaliteto rudne izkopine in ju primerjamo s prejšnjimi podatki. Na ta način ugotovimo osiromašenje rude z jalovino.

— Siromašno orudnenih delov, ki so pokazali manjši odstotek od 0,03 odstotka U, ne odkopavamo. Druge dele odkopavamo po frakcijah z 0,03 % U do 0,05 % U in nad 0,05 % U.

— Odkopano rudo prevažamo do sipke. Vso rudo z odkopnih polj A in B pustimo na obzorje 555 m, od koder jo po vpadniku s pomočjo vitla izvažamo na obzorje 580 m in od tam na površje.

Vso odkopano rudo masovno kemično vzorčujemo po 20 ton, da ugotovimo kvaliteto rudne izkopine po izvozu iz jame. Primerjava podatkov tega vzorčevanja z rezultati radiometričnega vzorčevanja v jami bo pokazala stopnjo osiromašenja rude po njenem odstreljevanju in izvozu iz jame.

Poseben problem predstavlja predelava rude v tehnični koncentrat. Po laboratorijskih tehnoloških poskusih ima prednost kisli hidrometalurški postopek. Vzporedno z masovnim vzorčevanjem smo na kraju samem na Žirovskem vrhu izvedli tudi poskusno obogatitev rude z radiometrično separacijo.

EKSPLOATACIJSKO RAZISKOVANJE RUDIŠČA

Ko sta v maju 1964 oddelek za rudarske upravne zadeve republiškega sekretariata za gospodarstvo in rudarski inšpektorat SR Slovenije odobrila raziskovalni projekt, smo pričeli z odpiralnimi rudarskimi deli. Najprej smo izkopali vpadnik, uredili izvoz materiala, odvodnjavanje in zračenje. Vpadnik smo dokončali v avgustu istega leta. Iz njega smo nato na obzorju 555 m izdelali odpiralni hodnik *NiP* in dva prečnika z jaškoma *O₁* in *O₂*. Ta hodnik smo pozneje podaljšali za 60 m, kjer smo nadaljevali z raziskovalnim vrtanjem. Jaška smo dokončali v novembru in decembru 1964. Nato smo na vmesnem obzorju 565 m pričeli z izkopom odpiralnih rudarskih del *O₁-P* in *O₂-P*. Vsako čelo smo med izkopom pred odstreljevanjem redno geološko in geofizikalno kontrolirali, da bi ugotovili, ali je odkopni material sterilen ali oruden.

Z geološkim kartiranjem smo zbirali petrografske, strukturne in teksturne podatke. Plastovitost je le redko tako razvita, da jo je možno spremljati na večji razdalji. Fina stratifikacija se pojavlja najpogosteje brez izrazite delitve na plasti (Omaljev, 1967). Porudni strukturni elementi so pomembni zato, ker so porušili kompaktnost rudnih plasti in prekinili njihovo kontinuirnost.

Čela in boke raziskovalnih hodnikov smo sistematično kontrolirali z Geiger-Müllerjevimi števci. Radioaktivnost smo merili v točkah kvadratne mreže z gostoto okrog 20×20 cm. Intenziteto radioaktivnosti v mikroröntgenih smo vnašali na geološki načrt čela hodnika. Za to izmero so najuporabnejši radiometri *PR-3 A*, ker hitro reagirajo tudi na najmanjše povečanje radioaktivnosti, ki ga neposredno odčitamo v enoti $\mu R/h$. V isti namen je možno uporabiti tudi radiometre *GMT-14*, vendar moramo v tem primeru rezultate po kalibrirani krivulji preračunavati v enote $\mu R/h$.

Da bi ugotovili kvaliteto odkrite rude na čelu in v bokih raziskovalnih hodnikov, smo v tem rudišču prvič preskusili in uporabili metodo merjenja v točki. Na čelih smo točke razporedili v mreži 30×30 cm, v bokih pa 50×30 cm in 100×30 cm.

Za pridobivanje rude iz odpiralnih in pripravljalnih rudarskih del smo uvedli enak delovni postopek, kakor je po projektu predviden na odkopih. Uporabili smo tudi isti kriterij za ločitev jalovine od rude po razmejitvenem odstotku 0,03 % U. V hodnikih ni bilo možno selektivno odstreljevanje; zato smo najprej označili kot rudo celotno izkopino, ki je vsebovala povprečno vsaj 0,03 % U (vključno jalovino in siromašno rudo). To rudo smo tudi masovno vzorčevali; posamezni vzorci so tehtali okrog 20 ton.

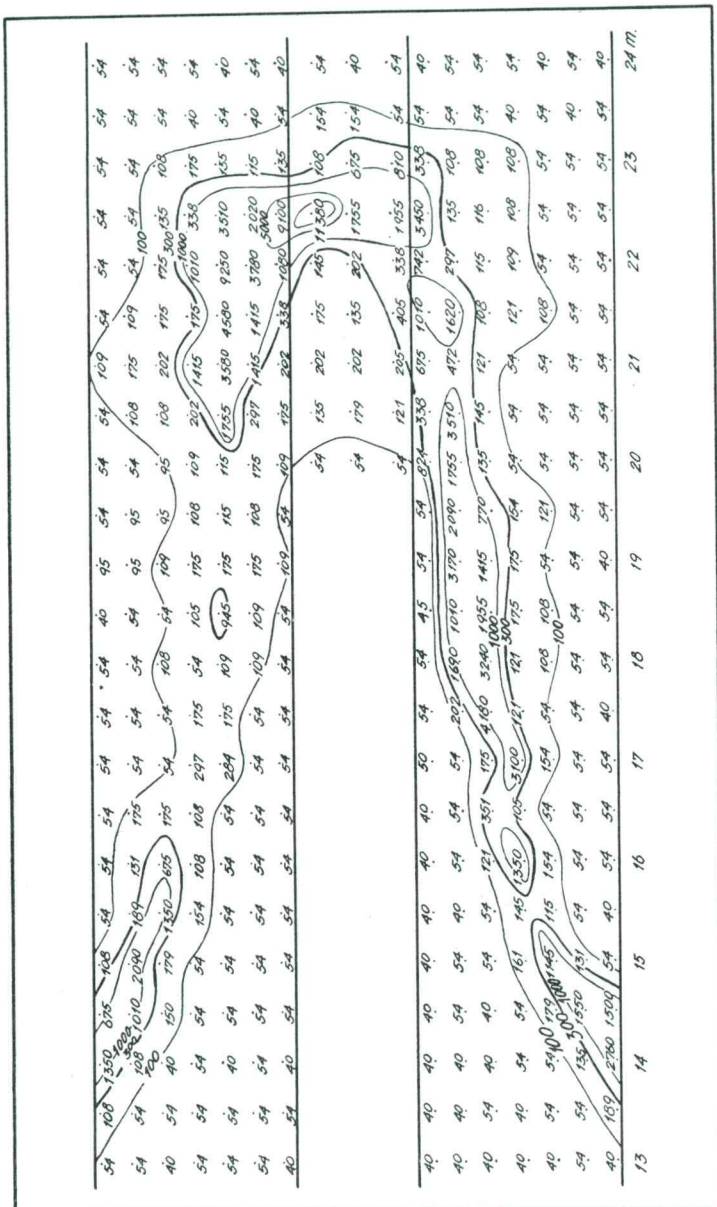
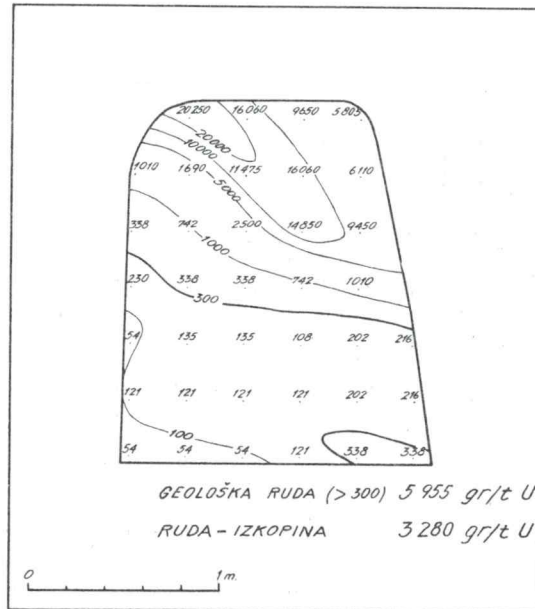


Fig. 9. Radiometric point sampling pattern of the gallery O₂-P. Grid density 50 × 30 cm. The ore body thin out in the gallery walls along the marginal contour line 300 g U/t ore. Regarding the contour line 100 g U/t ore uranium occurrence is continuous (after Mijač)

Sl. 9. Mreža točkovnega radiometričnega vzorčevanja v hodniku O₂-P. Gostota mreže 50 × 30 cm. Ruda se izklinja v bokih hodnika; mejna rudna kontura je 300 g U/t rude; po konturi 100 g U/t rude je orudenjenje neprekinjeno (po Mijaču)



Sl. 10. Mreža točkovnega radiometričnega vzorčevanja na čelu hodnika H-291.
Gostota 30×30 cm

Fig. 10. Radiometric point sampling pattern of the gallery face H-291. Grid density 30×30 cm

Odpiralni in pripravljalni hodniki

V odkopnem polju A smo prišli v rudo s hodnikom O_1-P . Rudna plast je blago vpadala v smeri 240° (v čelo hodnika), tako da smo rudo sledili na dolžini 14 m (sl. 11). Ta hodnik smo z nadkopom U-1 povezali z obzorjem 580 m. Po krajšem presledku smo hodnik nadaljevali skozi ja-lovino; ruda je izginila delno zaradi vpada, delno pa se je izklinila. Zaradi lokalne antiklinalne zgradbe je hodnik ponovno prišel v rudo in potekal v njej na dolžini 30 do 36 metrov.

Na 15 metru hodnika O_1-P smo pričeli v levem boku kopati priprav-
ljalni hodnik O_1-P_1 , v desnem boku pa O_1-P_2 . S tema hodnikoma smo nameravali smerno slediti rudo, tj. približno v generalni smeri plasti. Čeprav smo s hodnikom O_1-P_2 zavili proti jugozahodu, se je rudna plast v njem stalno dvigala in je končno pri 19. metru izginila v stropu. Tako je bila lokalna smer skoraj pravokotna na generalno; enako bi bili morali torej spremeniti tudi smer hodnika, kar pa ne bi bilo smotno.

Hodnik O_1-P_2 smo usmerili proti eni izmed udarnih jamskih vrtin po generalnem vpadu plasti. Rudo smo sledili do 14. metra, kjer se je izgubila pod hodnikom. Pozneje smo ugotovili, da se rudna plast v tej smeri izklini. Ponovno pa smo jo presekali v nadkopu U-21. S tem nadkopom se

hodnik O_1-P_2 konča neposredno pod prelomom. Ruda se po vpadu izklini na kratko razdaljo.

V odkopnem polju *B* je pripravljalni hodnik O_2-P presekala prvo rudno plast takoj ko je prišel iz preloma v relativno spuščeno krilo. Naprej smo rudo sledili z nadkopom *U-29*. Prečni profil tega hodnika kaže sl. 6. Z vertikalnim delom nadkopa smo prišli v hodnik *H-29*.

Ko je bil vzpostavljen naravni vlek, smo hodnik O_2-P nadaljevali in smo pri tem zadeli na talninsko rudno plast (sl. 9).

V nadkopu *U-29* se po padu debelina rude zelo hitro spreminja (odebelitve v obliki molkovih jagod). Zato ni mogoče točno določiti srednje debeline rudne leče. Z naraščanjem debeline ponekod raste tudi povprečni odstotek urana v rudi. Pri eni izmed odebelitev smo pričeli kopati smerni pripravljalni hodnik *H-291*. Z nadkopom smo rudno plast sledili na dolžini okrog 18 metrov.

Smerni pripravljalne hodnike smo izkopali na dveh vmesnih obzorjih: na 565 m hodnik *H-292* v stratigrafsko višji rudni plasti ter hodnika *H-293* in *H-294* v stratigrafsko nižji rudni plasti. Na vmesnem obzorju 569 m pa je pripravljalni hodnik *H-291*.

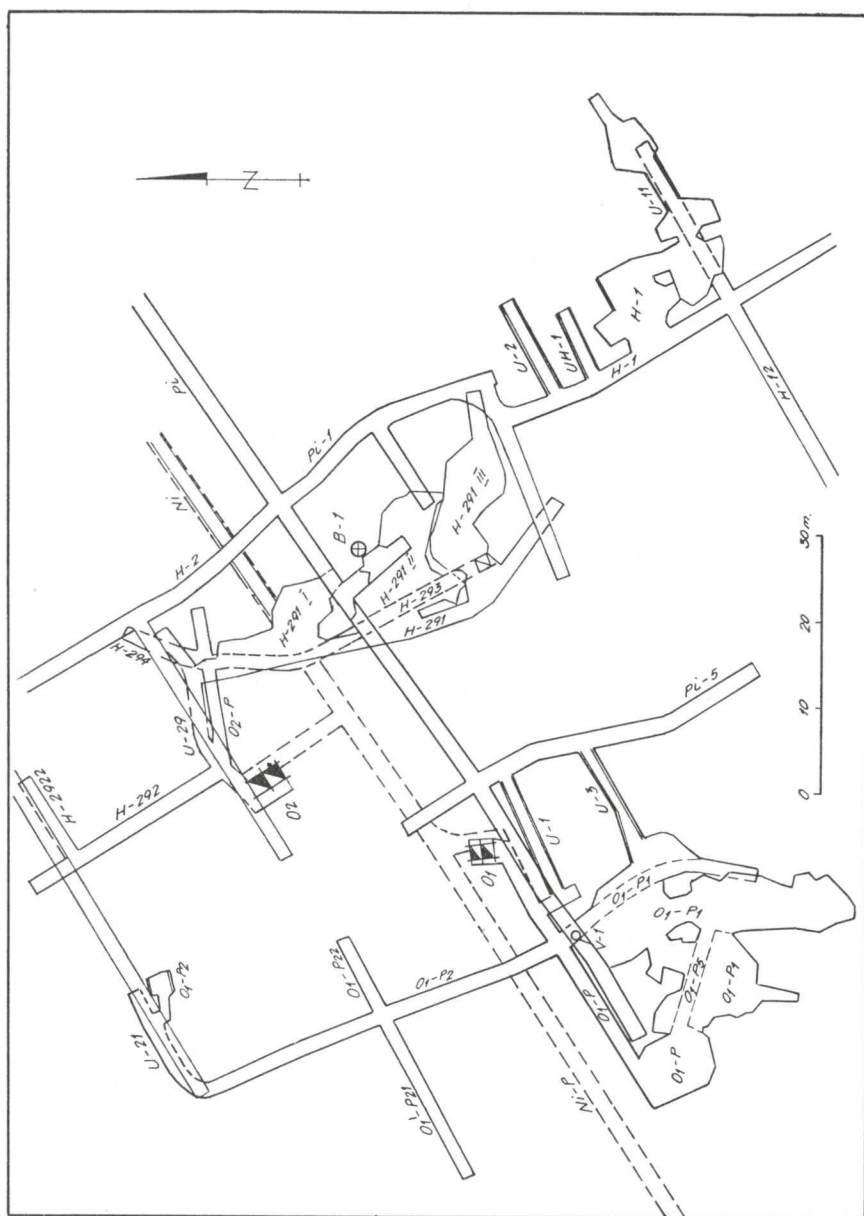
Izkop teh pripravljalnih hodnikov je trajal zaradi prekinitev skoraj dve leti. V marcu 1965 smo pričeli hodnik *H-291* in ga končali v maju istega leta. Istočasno smo pričeli kopati *H-293* in *H-294*. Dela v *H-294* smo normalno dokončali, v *H-293* pa smo jih kmalu ustavili; nadaljevali smo jih šele konec leta 1965, končali pa v letu 1966. Tudi hodnik *H-292* smo izkopali v letu 1966.

Hodnik *H-291* je bil usmerjen proti udarni vrtini *J-56* in je trikrat zadel na rudo. Pričakovali smo, da bo v celoti potekal skozi rudo, ki pa se je večkrat izklinila in ponovno pojavila. Debelina rude se je spreminjala od 0,5 m do 2 m, odstotek pa je bil ponekod visok.

S hodnikom *H-292* smo sledili isto rudno plast kot s *H-291*, vendar v nasprotni smeri. V *H-292* je bila rudna plast precej tanjša, kjer pa se je debelina povečala, je narasel tudi odstotek urana. Rudo smo sledili na dolžini 25 m, vmes so bile le krajše prekinitve.

O spodnji rudonosni plasti odkopnega polja *B* smo že prej vedeli, da je tanka in da vsebuje visok odstotek urana (z izjemo profila *H-29*). Prva rudarska dela so potrdila le manjšo debelino, ne pa tudi visokega odstotka. Šele pri 15. metru hodnika *H-293* se je pojavila ruda z visokim odstotkom pri veliki debelini, ki smo jo nato sledili 10 m do odkopa *H-291_{III}* na vmesnem obzorju 569 m. Hodnik *H-294* je usmerjen proti vrtini *J-198*, ki je zadela na debelo rudno plast. Prvi metri hodnika so bili v jalovini, toda v neposredni bližini vrtine smo prišli v rudo, o kateri smo dobili vtis, da se izklinjuje. Odstotki urana in debeline rude okrog vrtine so bili v hodniku in v vrtini približno enaki (po rezultatih merjenja žarkov gama).

Odkopno polje *C* je odprto s hodniki, ki so bili izkopani že v letu 1962. Tedaj smo radiometrično kontrolirali premer čela; metoda radiometričnega vzorčevanja v točki takrat še ni bila znana. Boke hodnikov *Pi-1* in *H-1* smo vzorčevali po metodi radiometrične brazde, od časa do časa pa tudi z brazdanjem. Sklepali smo, da smo s tema hodnikoma sledili isto rudno



Sl.11. Situacijski načrt odkopov in pripravljalnih rudarskih del
 Fig.11. Situation plan of stoping and mining development works

telo, ki se je v hodniku *Pi-1* pri 25. metru začelo dvigati in je nato izginilo v stropu. Prečnik *Pi-14* je ponovno presekala rudno plast. Smerno sledenje smo nadaljevali s hodnikom *H-1*. Rudna plast se je še dvigala in pri 10. metru izginila v stropu. Do 26. metra smo v tem hodniku že večkrat zadeli na uranovo rudo; med 20. in 25. metrom je radioaktivnost dosegla $300 \mu\text{R/h}$. Z udarnim vrtanjem smo nato raziskali orudenje po profilih in v bokih hodnika. Na ta način smo ugotovili, da hodnik poteka nad rudonosnimi plastmi in pod njimi (sl. 8).

Od pripravljanih del v polju *C* smo izvedli samo nadkop; z njim smo sledili siromašno rudo na dolžini okrog 10 metrov. Izkop smernega hodnika, vzporednega s *H-1*, smo opustili in smo pričeli z odkopavanjem v boku.

Odkopavanje rudnih leč

Petmesečna odpiralna in pripravljalna dela so prinesla izkušnje, na podlagi katerih smo rešili številna nejasna vprašanja glede odkopavanja rude.

Po profilih jamskih udarnih vrtin smo rudne nivoje dobro povezali (sl. 5, 6, 7 in 8) in jih interpretirali na podlagi geoloških podatkov, da je orudenje vzporedno s plastovitostjo. Ponekod se med dvema vrtinama (*U-29*) rudna plast izklinjuje, če rudno konturo označimo z $0,03\%$ U, medtem ko kontinuirnost rude pri konturi $0,01\%$ U ni prekinjena. Podobne razmere smo našli tudi v drugih hodnikih (sl. 9). Opazili smo, da se ruda na kratkih razdaljah izklinjuje tudi po smeri plasti (*H-291*). V rudi se pogosto pojavljajo tanki vložki jalovine in siromašne rude. Rudne konture, kakor tudi druge izprocentne črte imajo na čelih hodnikov pogosto zelo komplicirane oblike. To je posledica koeficienta velike variabilnosti rudne koncentracije. Odstotek urana se v posameznih točkovnih vzorcih zelo hitro menjava od minimalnih do zelo visokih vrednosti. Gradienti naraščanja odstotka so močnejše izraženi po vpadu plasti, manj pa po njihovi smeri. Prehod rude v jalovino je ponekod postopen, drugod skokovit.

Metoda radiometričnega vzorčevanja v točki je pokazala več prednosti pred drugimi metodami vzorčevanja. Uporaba drugih metod na čelih hodnikov (vključno metodo radiometrične brazde), bi povzročala pogoste prekinitev v izkopu hodnikov. Jedra in trda kamenina ter pogostna skrilava klivaža zahtevajo precej časa, da se površje kamenine in rude poravnava in pripravi za vzorčevanje po drugih metodah. Priprava površja za točkovno vzorčevanje pa je kratka: treba je odbiti le labilne in izbočene dele, da se lahko prisloni sonda radiometra.

Poleg operativnosti ima ta metoda še druge prednosti. Za razliko od odbojno točkaste metode nam da ta način vzorčevanja odstotek urana v vsaki merjeni točki. Na čelu hodnika izmerimo 20 do 40 točk, ki so enakomerno razporejene po površju. S takšnim razporedom dobimo plastično sliko rudne leče ter porazdelitev bogatih in siromašnih delov rude znotraj nje, vključno večje ali manjše jalove vložke, ki jih z drugimi metodami ne bi mogli registrirati. Število vzorcev na posameznem čelu hodnika je dovolj veliko, da zagotovi statistično točnost metode; pri tem

seveda ne upoštevamo sistematične napake radiometričnega vzorčevanja, ki nastane zaradi neravnotežja med uranom in radijem.

Gostota točk na odkopnih čelih bo podobna kot na čelih in bokih hodnikov. Če ima čelo majhno površino, je mreža točk $30\text{ cm} \times 30\text{ cm}$, na večjih čelih pa $50\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ ali $100\text{ cm} \times 30\text{ cm}$. Na zelo velikih odkopnih čelih lahko uporabimo tudi mrežo $100\text{ cm} \times 50\text{ cm}$. Do te ugotovitve smo prišli po analizi redkejših mrež vzorcev v hodnikih. Povprečje urana v bokih hodnika se le malo spremeni, če mrežo razredčimo na polovico ali tretjino vzorcev; vendar mora biti preostalo število vzorcev le še dovolj veliko.

Razmejitvena vrednost za ločitev rude in jalovine ostane nespremenjena (0,03 % U).

Po podatkih, zbranih med odpiralnimi in pripravljalnimi rudarskimi deli, je bilo sklenjeno, da se kot ruda vzame celotna izkopina s povprečjem 0,03 % U, vključno jalovino, ki se odkoplje z rudo v njeni neposredni okolici.

Izoprocentne črte na vzorčevanih čelih so pogosto zelo komplicirane in se spreminjajo od čela do čela. Zato je takoj postalo jasno, da ni smotno odkopavati rudo po frakcijah, kakor je bilo predvideno s projektom. Kriterij za odkopavanje sta lahko samo minimalni povprečni odstotek urana in rudna kontura.

Orudnenih delov, ki vsebujejo tanke rudne plasti in ne dosežejo minimalnega povprečja, ne odkopavamo, temveč jih pustimo kot varnostne stebre. Kjer pa siromašne rude ni na večji površini, tam je treba pustiti varnostni steber v rudi.

Debelina rudnega telesa, merjena po konturi, se spreminja tako po vpadu kakor tudi po smeri plasti. Debelina se po vpadu navadno bolj spreminja. Zaradi sprememb debeline smo se odločili, da obenem z rudo odkopljeno tudi določeno količino jalovine in siromašne rude (do 0,5 m). Na ta način je bilo možno stalno spremljati rudne konture.

Tako smo prišli do dveh pojmov rude: geološko rudo omejuje izoprocentna črta 0,03 % U, rudna izkopina (ali krajše: izkopina) pa je odkopana ruda z določeno količino jalovine in siromašne rude (sl. 10).

V odpiralnih in pripravljalnih hodnikih in nadkopih smo v posameznih vzorcih dobili ekstremno visoke odstotke urana (sl. 10). Vzorci ekstremnih vrednosti so ponekod osamljeni, drugod pa ima več točk na čelu hodnika procentne vrednosti urana, ki so 10- do 15-krat, včasih celo nad 20-krat višje od povprečja v rudi. Ekstremno visoke vrednosti posameznih vzorcev so posledica visoke koncentracije urana na določenem manjšem ali večjem prostoru. Posamezen vzorec predstavlja majhno količino rude, ki verjetno ni mnogo večja od elementarne količine rude, katere radioaktivno sevanje smo izmerili kot radiometrični vzorec. Statistično je količina izredno bogatih vzorcev tako majhna v primerjavi s skupno količino vzorcev, izmerjenih v rudnem telesu, da jo lahko zanemarimo; pogosto je tudi zadosti majhna v primerjavi s številom vzorcev na odkopnem čelu. Odločili smo se, da vzorce s procentno vsebnostjo urana preliminarno upoštevamo v računu povprečja.

Dokumentacija o vzorčevanju na odkopnih čelih je enaka kot za hodnike. Kot novost smo že med izkopom pripravljanih hodnikov uvedli statistično obdelavo vzorcev (sl. 10). Veliko število podatkov o odkopnem čelu je nepregledno, zato jih moramo izraziti v preglednih vrednostih osiroma v povprečju geološke rude in izkopine.

Po podatkih vzorčevanja lahko izračunamo, koliko se je izkopina osiromašila zaradi odstreljevanja določene količine jalovine z rudo. To osiromašenje je posledica poskusnega odkopavanja (načrtno osiromašenje) in ne predstavlja osiromašenja celotne izkopine.

Med odkopavanjem se ruda na splošno osiromaši bodisi zato, ker se rudno telo v smeri odkopa izklinjuje, bodisi zato, ker se odstrelji preveč jalovine ali pa se ruda pomeša z jalovino med transportom od odkopa do kraja vzorčevanja (slučajno osiromašenje). V vsakem določenem primeru je celotno osiromašenje rude vsota načrtnega in slučajnega osiromašenja.

Širina odkopnega čela je znašala povečini 2 do 10 metrov, le redko je bilo čelo širše. Prizadevali smo si, da bi bilo odkopno čelo vzporedno s smerjo rudonosnih plasti. Njegova višina je znašala 1,6 do 3 metre, izjemno je bila manjša, kadar so odstreljevali na bokih odkopov. Debelina etaže pri odstreljevanju je bila navadno 1 meter, le izjemno tudi več.

Selektivnega poskusnega odkopavanja nismo izvedli. Prvotno je bilo predvideno, da se takšen poskus izvede iz hodnika *H-293* v talninski rudni plasti odkopnega polja *B*. Po podatkih vrtin je tam sorazmerno tanka, toda zelo bogata rudna plast (sl. 8).

Ko so bili poskusi z radiometrično separacijo ustavljeni, smo za odstreljevanje rude uporabljali bolj brizantno razstrelivo. Na ta način smo dobili mnogo bolj zdrobljen material za potrebe masovnega kemičnega vzorčevanja, ki je zajelo celotno količino odkopane rude.

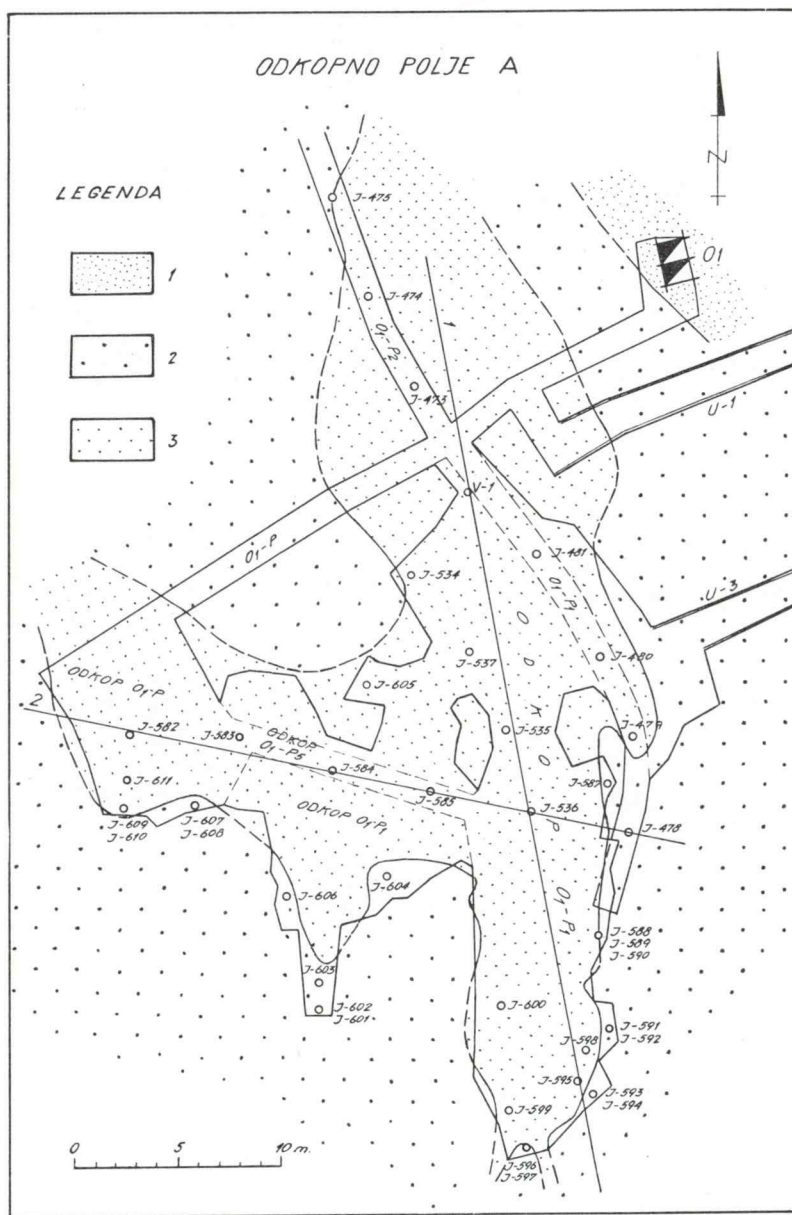
Ker se ruda makroskopsko ne loči od jalovine, plastovitosti, po kateri lahko sklepamo na orudenjenje, pa navadno ni videti, smo uvedli poseben postopek za omejitev rude na odkopnih čelih, da bi mogli rudarji bolje razporediti vrtine za odstreljevanje. Na podlagi točkovnega radiometričnega vzorčevanja na odkopnem čelu z minijem omejimo rudo, seveda poenostavljeno. Zadnja vrsta lukenj za odstreljevanje se zvrta zunaj rudne konture.

Rezultate odkopavanja bomo podali z opisom odkopov po odkopnih poljih. Situacijo odkopov kaže slika 11.

Odkopno polje A

Odkopno polje *A* leži v veliki rudni leči (sl. 12), ki smo jo pripravili za odkopavanje s hodniki *O₁-P*, *O₁-P₁*, *O₁-P₂* in pozneje še *O₁-P₅*. Rudo smo odkopavali v dveh odkopih, ki imata isti označbi kot hodnika, iz katerih smo pričeli z odkopavanjem. Izjema je *O₁-P₂*, ki leži 50 m proti severozahodu in nima neposredne zveze z navedenima odkopoma (pod prelomom smo odkopali okrog 40 t rude).

Odkop *O₁-P* smo pričeli v levem boku med 32. in 36. metrom istoimenskega hodnika. V začetku odkopa je bila rudna plast debela 1 m. Odkopna višina je bila 1,6 m. Rudo smo odkopavali v 9 etažah, dokler se ni izklinila.



Sl. 12. Odkopno polje A
 1 rdeči peščenjak, 2 sivi peščenjak, 3 ruda
 Fig. 12. Stopping area A
 1 Red sandstone, 2 Gray sandstone, 3 Uranium ore

Tedaj smo v levem boku odkopa odstrelili dve etaži z odkopno višino, manjšo od 1 m (v tej smeri vpada rudna plast). To je bil prvi odkop, ki smo ga dokončali v juniju 1965; zaradi svoje velikosti je napravil dober vtis.

Rudno lečo smo odkopavali v etažah, razvrščenih približno v smeri plasti. Pozneje smo ugotovili, da je tu razvita majhna antiklinala. Rudno telo blago vpada proti severovzhodu in zelo strmo proti jugozahodu (podatek iz hodnika *Ni-P* na koti 555 m). Rudno telo se lepo postopno dviga v smeri napredovanja odkopa (SSE); zato nismo nadaljevali odkopavanja v desnem boku hodnika *O₁-P* (proti NW).

Odkop *O₁-P₁* smo pričeli v levem in desnem boku istoimenskega hodnika. Rudo smo nameravali odkopavati v etažah po smeri navzgor in končno ta odkop združiti s hodnikom *Pi-5* na obzorju 580 m (sl. 11). Toda ruda je bila le v varnostnem stebru in že po prvem odstreljevanju smo prišli v jalovino (sl. 12). Poznejša rudarska dela v tej smeri, izvedena zaradi zračenja (nadkop *U-3*), so pokazala, da je ta del rudišča sterilan.

Odkopavanje smo nadaljevali po vpadu navzdol v desnem boku hodnika v generalni smeri plasti, ker smo pričakovali, da rudno telo vpada v tej smeri. Odkopno čelo smo zožili na 6 m. Po tretjem odstreljevanju v tej smeri smo opazili, da se rudna leča dviga proti jugu; zato smo odkopavanje nadaljevali v tej smeri. Konec leta 1965 smo odkopavanje začasno ustavili. Tedaj smo izkopali hodnik *O₁-P₅*. Z njim smo, sledeč rudo, povezali odkopa *O₁-P* in *O₁-P₁* in tako dokazali, da sta oba odkopa v istem rudnem telesu.

Leta 1966 smo odkopavanje nadaljevali proti jugu, dokler se ruda ni izklinila. Istočasno smo odkop *O₁-P₁* razširili iz hodnika *O₁-P₅* v oba boka. Na ta način smo spojili dva odkopa. Odkopavanje proti jugu smo ustavili, ko se je ruda izklinila, proti severu pa, ko se je toliko znižala po vpadu, da v njej ni bilo več možno delati.

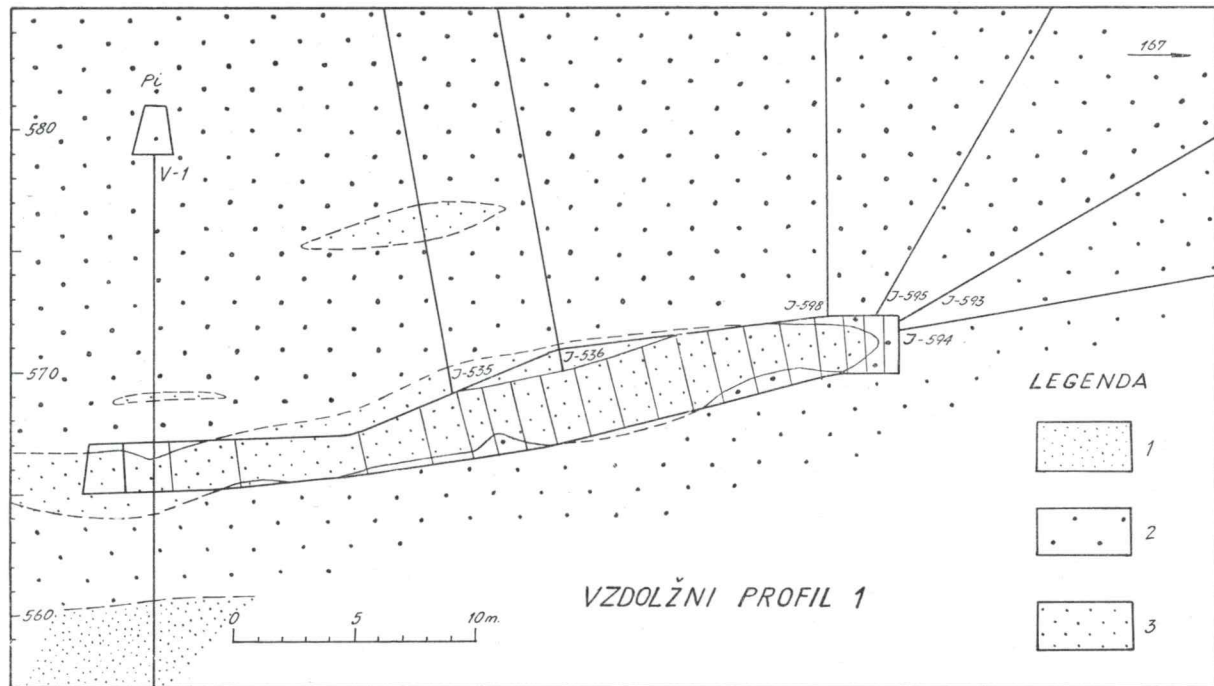
V hodniku *O₁-P₂* je bila ta rudna leča nedotaknjena, ker smo po količini izpolnili načrt odkopavanja.

V rudi smo pustili 6 varnostnih stebrov, kjer je bilo to potrebno za zavarovanje stropa; kjerkoli pa je bilo možno, smo varnostne stebre puščali v jalovini.

Odkopna čela so bila v tem odkopu dolga 2 do 14 metrov. Orientacija odkopnih čel se je tudi spreminjala glede na smer in vpad rude. Na tem prostoru je razvita popolna guba, katere os vpada proti NW, vzporedno z gubami višjega reda (Omaljev, 1966); zato se lokalna smer plasti pogosto menjava. Oblika rudnega telesa pa je zaradi tega še bolj komplicirana.

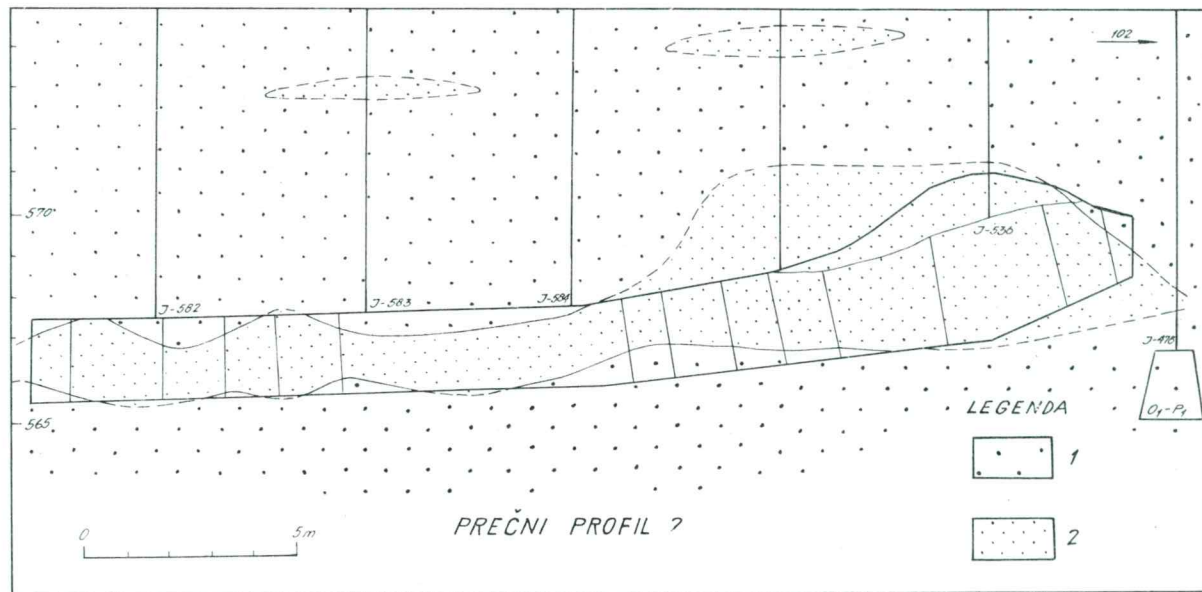
Odstotek urana v rudni leči v obeh odkopih variira v širokih mejah tako v določenem odkopnem čelu kakor tudi od čela do čela. Povprečja urana na odkopnih čelih hodnikov in na odkopih so bila sorazmerno nizka, redko so presegla 0,1 ‰ U. Povprečje geološke rude je bilo prav tako nizko, navadno pod 0,1 ‰ U.

Vzorcev z ekstremno visokimi odstotki (nad 1 ‰ U) je bilo zelo malo. Ruda te leče je radiometrično srednje kontrastna; zato bi radiometrična



SL. 13. Vzdolžni profil odkopnega polja A
1 rdeči peščenjak, 2 sivi peščenjak, 3 ruda

Fig. 13. Longitudinal section of the stopping area A
1 Red sandstone, 2 Gray sandstone, 3 Uranium ore



Sl. 14. Prečni profil odkopnega polja A
 1 rdeči peščenjak, 2 uranova ruda
 Fig. 14. Cross section of the stoping area A
 1 Red sandstone, 2 Uranium ore

separacija verjetno dala zadovoljive rezultate. Ker je ruda kompaktna, dobivanje debelejših frakcij ne bi predstavljalo problema.

Debelina rudne leče se je spreminjala. Ponekod je ruda vsebovala vložke jalovine in siromašne rude. Kjer ni bilo jalovih vložkov, je bila rudna leča debela več kot 1 meter, ponekod celo prek 2 metra (sl. 13 in 14). Odstotek urana v rudi ni bil odvisen od debeline leče.

Kolikor lahko razberemo iz načrta (sl. 12), je vzdolžna os rudne leče usmerjena proti jugu. Ta smer pa se ne ujema niti z generalno niti z lokalno smerjo plasti. Odcep leče na odkopu O_1P je usmerjen proti SE. Če bi sledili rudo še naprej po smeri hodnika $Ni-P$ (kota 555 m), bi prevladovala smer NNW-SSE.

Rudno lečo smo raziskali v dolžini 50 m in širini do 30 m. V srednjem delu načrta (sl. 12) rude v hodniku O_1-P ni, pač pa je pod njim (po podatkih vrtin iz P_i in $Ni-P$), tako da kontinuirnost rudne leče ni prekinjena.

Odkopno polje B

Odkopno polje B predstavlja podaljšek odkopnega polja A po vpadu navzgor. Med obema poljema je prelom (sl. 11). Odkopno polje B se nahaja v pogreznjenem krilu preloma in obsega prostor od prelomne ploskve do obzorja 580 m. Odprto je z jaškom O_2 , iz katerega smo izkopali odpiralne in prapravljalne hodnike ter nadkope O_2-P in $U-29$ po vpadu, $H-292$, $H-293$ in $H-294$ na obzorju 565 m in $H-291$ na nivoju 568 m. V tem odkopnem polju sta razviti dve rudni plasti neposredno ena nad drugo, kar je omogočilo raziskave na dveh vmesnih obzorjih. Talninsko plast smo presekali s hodnikom O_2-P , smerno pa smo jo raziskali s hodnikoma $H-293$ in $H-294$.

Rudo smo odkopavali v treh odkopih iz hodnika $H-291$; vsi trije imajo označbo $H-291$ z indeksi I , II in III . Ko smo pričeli z odkopavanjem, smo mislili, da so vsi trije odkopi v krovninski rudni plasti, ki vsebuje jalove dele. Pozneje se je pokazalo, da je odkop $H-291_{III}$ v talninski plasti.

Odkop $H-291_I$ smo pričeli v levem boku hodnika med 3. in 13. metrom. Debelina rudne plasti je bila povečini manjša od 1 metra. Odstotki urana so bili sorazmerno visoki, a so upadali po vpadu navzgor. Odkopna višina je znašala 1,6 m do 1,8 m. Odkopnih etaž je bilo 8. Rudna plast se je proti SE postopno dvigala in v tej smeri smo jo sledili z odkopom. Zaradi majhne odkopne višine in nizkih odstotkov urana je delo le počasi napredovalo, tako da smo na tem odkopu delali s prekinitvami v letih 1965 in 1966. Ruda je imela smer proti večjemu odkopu $H-291_{II}$, vendar zveze med obema odkopoma leta 1966 nismo vzpostavili, ker smo po obsegu prej izpolnili načrt.

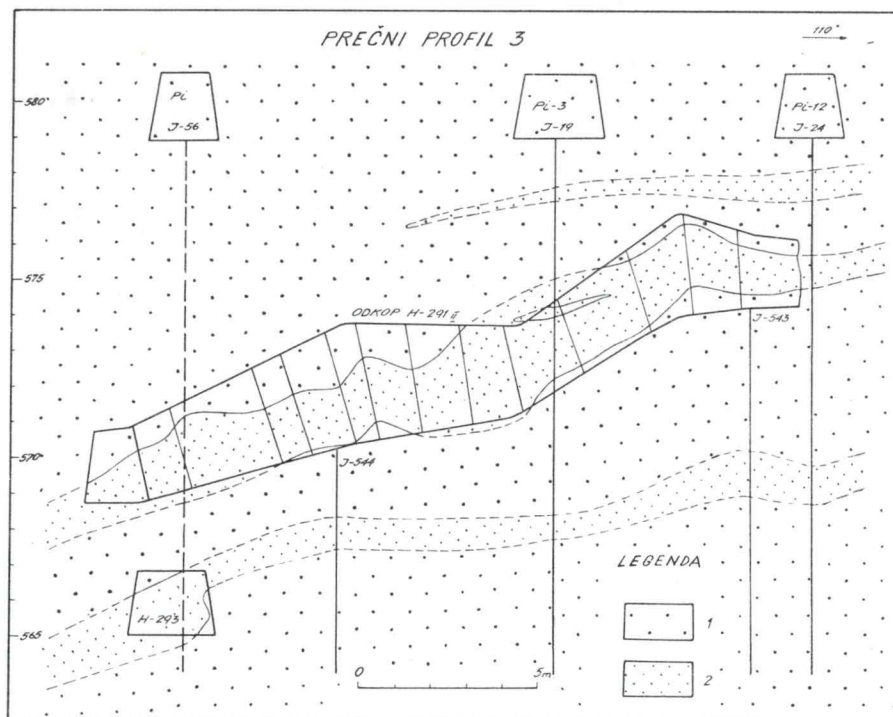
Odkopne etaže so bile približno vzporedne z lokalno smerjo plasti in rudnega telesa, pozneje pa smo v desnem boku odstreljevali rudo približno pravokotno na smer plasti.

Odkop $H-292_{II}$ smo pričeli v levem boku hodnika med 20. in 26. metrom. Rudna plast je imela v začetku odkopa veliko debelino, majhno dolžino po smeri in visoke odstotke urana. Odkopna višina je bila 2 do 2,5 metra. Rudna plast se je proti SE postopno dvigala. Z odkopom smo

jo sledili, dokler se ni izklinila ali se tako stanjšala, da je ni bilo več mogoče odkopavati (sl. 15 in 16).

Odkopavali smo v 13 etažah, približno vzporedno s smerjo plasti. Pozneje smo z odstreljevanjem v bokih odkop razširili. Napredovanje po smeri je znašalo poečini 1 do 1,5 metra. Ruda in prikamenina sta bili zelo kompaktni, brez klivaže in razpok. Zaradi velike trdnosti prikamenine v rudi ni bilo treba puščati varnostnih stebrov.

Ta odkop je omogočil, da smo na večjem prostoru spremljali rudno konturo 0,03 % U v vseh treh dimenzijah. Rudno telo je zelo razvejano, kar se dobro vidi po obliki odkopa, zlasti še, ker smo z rudo odkopavali določeno količino jalovine. Rudna leča je ležala diagonalno glede na lokalno smer plasti in rude. V smeri plasti potekata dva »izrastka«, prvi proti odkopu H-291_I, a drugi v nasprotni smeri (ta je delno odkopan). Rudna leča se je v podolžni smeri stanjšala, vendar je verjetno kontinuirna v smeri hodnika Pi-1 na obzorju 580 m. Rudno telo ima okrog vrtine B-1 značilno obliko črke V; zato vrtina na odkopu ni zadela rude.



Sl. 16. Prečni profil odkopa H-291_I
1 sivi peščenjak, 2 ruda

Fig. 16. Cross section of the H-291_I stope
1 Gray sandstone, 2 Uranium ore

Nad stropom odkopa je v vrtini *B-1* rudni nivo z navidezno debelino 2,5 m in s povprečjem 0,0596 ‰ U, medtem ko ima ustrezno odkopno čelo po 82 vzorcih povprečje 0,0834 ‰ U (geološka ruda, 47 vzorcev, 0,1372 ‰ U). Podobne razmere kaže jamska vrtina *J-19*, ki je imela na 2,8 m navidezne debeline povprečje 0,546 ‰ U, odkopno čelo v bližini pa na podlagi 59 vzorcev 0,290 ‰ U (geološka ruda, 45 vzorcev, 0,3744 ‰ U). Iz teh podatkov vidimo, da vrtine sorazmerno dobro predstavljajo svojo ožjo okolico.

Povprečja urana v rudi na odkopnih čelih so bila sorazmerno visoka, navadno nad 0,1 ‰ U, le redko pod to vrednostjo. Povprečja geološke rude so bila nad 0,1 ‰ U, pogosto celo nad 0,2 ‰ U.

Na tem odkopu smo izmerili največ vzorcev z ekstremno visokimi odstotki urana (nad 1 ‰). Ti vzorci so bili v skupinah (sl. 10) in so se pojavljali tudi na naslednjih odkopnih čelih v smeri odkopavanja. Na tem odkopu zavzema ruda z ekstremno visokimi odstotki urana sorazmerno velik prostor, količina pa znaša več ton (ponekod celo več deset ton). Ekstremno bogata ruda je omejena z ostalo rudo; v teh prostorih so bili procesi mineralizacije najmočnejši. V ekstremno bogati rudi so zrna smolnate rude debela desetinko milimetra (ponekod več sto mikronov).

Na odkopih *H-291_I* in *H-291_{II}* je ruda radiometrično zelo kontrastna. Ker je ruda zelo kompaktna, je z ustreznim načinom odstreljevanja možno dobiti debele frakcije. Oba odkopa sta v istem rudnem telesu, ki ima zelo komplicirano obliko. V hodniku *H-291* se ruda hitro izklinjuje.

S tema odkopoma, z nadkopom *U-29* in s hodnikom *H-292* smo raziskali rudno telo, sestavljeno iz več leč, ki so v medsebojni zvezi. Smerno smo rudo raziskali na dolžini prek 60 m. Z nadkopom in s smernima hodnikom na dveh vmesnih obzorjih smo rudo delno raziskali tudi po vpadu (okrog 20 m).

Za to rudno telo (rudonosni nivo) je značilno, da leže v njem rudne leče diagonalno na smer plasti in rude. Na odkopih je diagonalna smer očitna, verjetno pa ista struktura prevladuje tudi proti severozahodu. V hodniku *H-292* se rudna plast ponekod izklinjuje, kar kaže na to strukturo.

V vsem raziskovalnem prostoru so odstotki urana v rudi znotraj konture 0,03 ‰ U povečini sorazmerno visoki s pogostimi pojavi ekstremno bogate rude. Debelina rudne plasti zelo variira, oziroma nastopajo odebelitve po smeri in vpadu. Opazili smo, da so odebelitve večje proti jugovzhodu (kjer so odkopi). Odebelitve so verjetne tudi proti severovzhodu, vendar to ni dokazano, ker tam ni odkopov.

Odkop *H-291_{III}* smo pričeli v levem boku hodnika med 35. in 41. metrom. Še preden smo presekali rudo, smo zaradi preloma spremenili smer hodnika *H-291*. V začetku odkopavanja smo mislili, da je ta odkop v isti rudni plasti kot prva dva. Zaradi nevsklajenih zmogljivosti odkopavanja in masovnega kemičnega vzorčevanja smo vso rudo z označbo *H-291* vskladiščili skupaj. Ko smo pozneje ugotovili, da je odkop *H-291_{III}* v talninski plasti, rude pri masovnem vzorčevanju nismo mogli več ločiti.

Da je odkop *H-291_{III}* res v stratigrafsko nižji rudonosni plasti (sl. 17 in 18), je dokazano s hodnikom *H-293*. Z njim smo sledili talninsko rudno

plast v lokalni smeri plasti. Ko smo pa zadeli na prelom, smo smer spremenili proti severovzhodu in sledeč rudo prišli leta 1966 s hodnikom v odkop *H-291_{III}*.

V tem odkopu smo pričeli z odkopavanjem junija 1965. Usmerili smo se proti severovzhodu, da bi dosegli *H-291_{II}*. Rudna plast se je dvigala pod majhnim kotom; zato smo postopno zajeli njeno celotno debelino (v začetku smo odkopavali samo krovninski del rudne leče). Po odstreljevanju sedmih etaž se je pokazalo, da je ta odkop v drugi rudni leči, ki leži v nižjem stratigrafskem nivoju. V smeri odkopavanja se je ruda izklinjevala. Postalo je očitno, da moramo odkop preusmeriti proti jugovzhodu. V tej smeri smo v letu 1966 odkopali 8 etaž in pri tem dvakrat odstrelili desni bok, da bi razširili čelo odkopa. Rudna leča se je konstantno dvigala in končno smo z nadkopom *U-291* prišli v hodnik *Pi-14* na obzorju 580 m. Tam, kjer preide nadkop v vertikalno lego, se rudna leča izklini.

Odkopne etaže so bile navadno visoke okrog 2 m, odstreljevali pa smo v pasovih po 1 m do 1,5 m. V rudi in prikamenini so bile pogoste razpoke (v bližini preloma) in klivaža. Krovninska plast peščenjaka je bila ponekod zelo tanko stratificirana. V takšnih delih se je strop odkopa zarušaval, ker so se po razpokah, vzporednih klivaži, oddeljevale plošče peščenjaka.

Povprečja urana so bila sorazmerno visoka. Odstotki so bili redko pod 0,1 ‰ U, včasih pa nad 0,2 ‰ U. Geološka ruda je bila bogata. Ekstremno visoki odstotki so bili precej pogostni; po številu teh vrednosti je odkop *H-291_{III}* takoj za *H-291_{II}*.

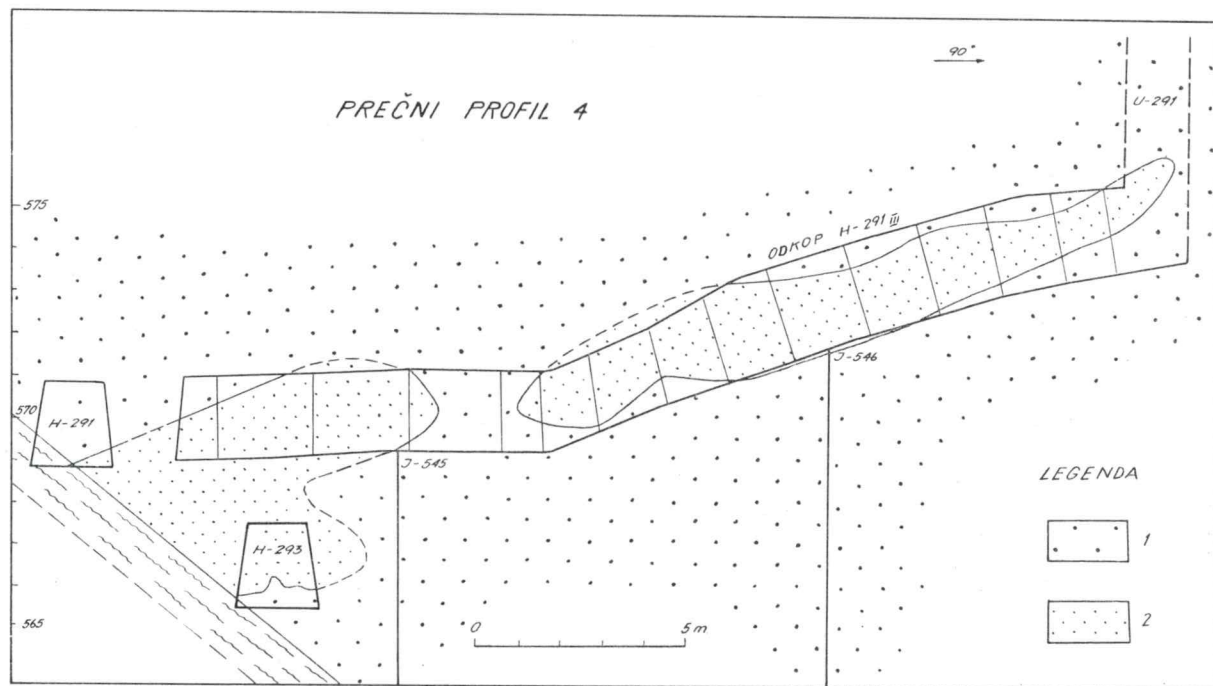
Podobni odstotki urana so tudi v hodniku *H-293*, kjer smo zadeli na najbogatejšo rudo preden smo prišli do odkopa. Najdebelejši in najbogatejši del rudne leče je ostal neodkopan v desnem boku hodnika *H-293* (sl. 18).

To rudno lečo smo raziskali s hodniki *O₂-P*, *H-294* in *H-293* ter z odkopom *H-291_{III}*. Njena ruda je radiometrično zelo kontrastna, podobno kot krovninska rudna plast. Skrilava klivaža pa otežuje pridobivanje debelih frakcij rude in s tem zmanjšuje možnost radiometrične separacije.

S hodnikom *H-2922* smo zadeli na rudo, ki najverjetneje pripada tej rudonosni plasti. Odstotki urana v njej so podobni kot v drugih hodnikih talninske plasti. Po teh podatkih sklepamo, da se ruda v začetku hodnika *H-294*, s katerim smo že prej presekali rudno plast, ne izklini; izgubili smo jo zato, ker smo s hodnikom krenili na desno — proti vrtini *J-198*. Tudi ta primer kaže, da moramo rudarska dela usmerjati po geoloških podatkih (plastovitost), zbranih na večjem prostoru. Sledenje rude samo po radiometričnih podatkih pomeni tavanje, kar se je pokazalo zlasti v hodniku *Pi-5* leta 1962.

Talniska plast se razprostira podobno kot krovninska. V južnem delu polja je delno odkopana. Tam je dobro izražena diagonalna lega rudne leče glede na smer plasti.

Po podatkih površinskih in jamskih vrtin se talniska plast v južnem delu odkopnega polja *B* dviga (sl. 8). Znano je, da so povprečja urana v nekaterih vrtinah zelo visoka. Proti jugu od odkopa pa povprečje po podatkih vrtin pada, debelina pa raste (sl. 8).



Sl. 18. Prečni profil odkopa H-291 III
 1 sivi peščenjak, 2 ruda
 Fig. 18. Cross section of the H-291 III slope
 1 Gray sandstone, 2 Uranium ore

Tega prostora nismo raziskovali z rudarskimi deli, vendar je verjetno, da so povprečja urana tudi tu visoka. Rudna plast se v tej smeri dviga na obzorje 580 m; zato smo jo dalje raziskovali v odkopnem polju C.

Talninska rudna leča vsebuje več tisoč ton rude z najvišjim odstotkom urana, ki je doslej znan v prostoru eksploatacijskega raziskovanja.

V odkopnem polju B sta pod obzorjem 580 m do preloma dve rudni plasti neposredno ena nad drugo. Rudne leče v rudonosni plasti leže diagonalno na smer plasti. Rudna kontura ima zelo komplicirano obliko, debelina se pa zelo spreminja.

Odkopno polje C

Odkopno polje C je neposredni podaljšek odkopnega polja B. Obsega prostor nad obzorjem 580 m. Na tem horizontu smo rudo najprej raziskovali v letih 1961 in 1962. Takratna rudarska dela so pozneje rabila kot pripravljalna dela za odkopavanje.

Odkopavali smo po vpadu navzgor. Z vrtanjem smo ugotovili, da se rudna leča, raziskana s hodnikom *Pi-1*, izklinjuje bodisi v hodniku, bodisi že v boku. Hodnik *H-1* je zadel na siromašno orudjenje, obstajala pa je možnost, da najdemo bogatejšo rudo. Vsa eksploatacijska raziskovalna dela v tem polju smo izvedli v levem boku hodnika *H-1*.

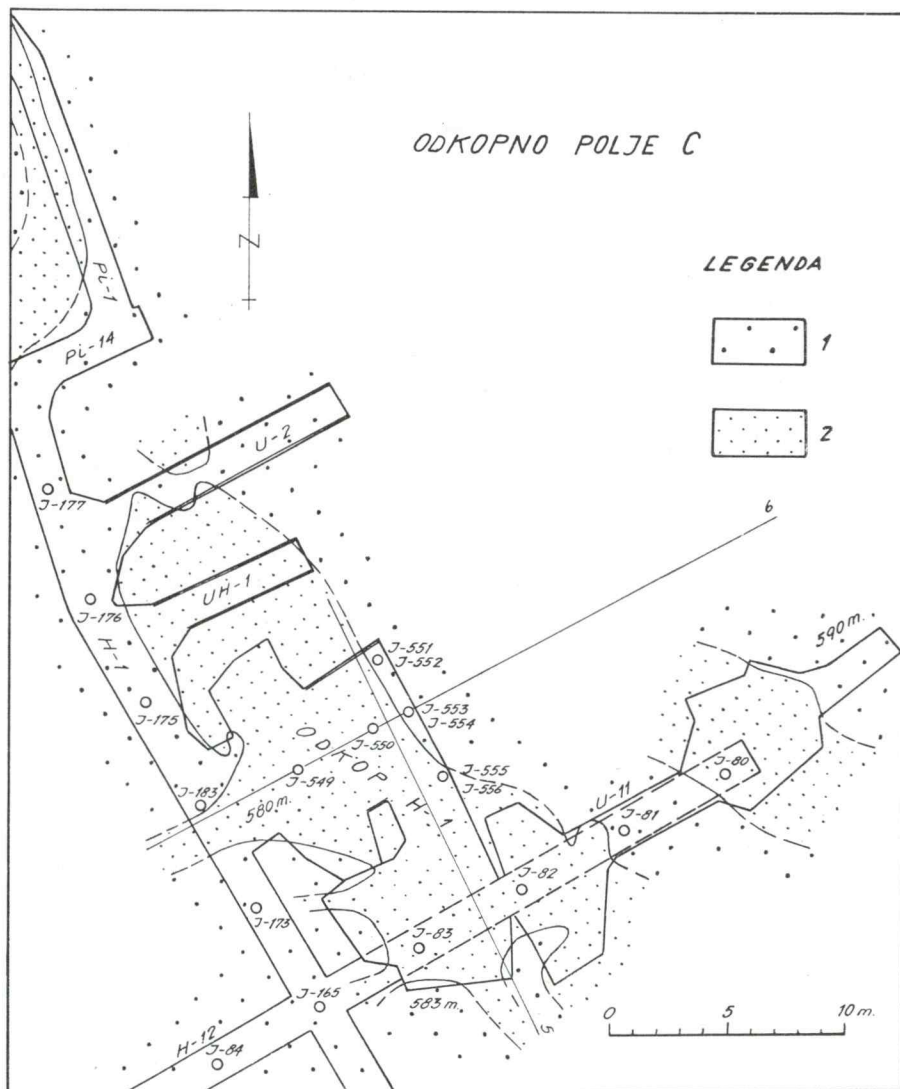
Z deli smo pričeli v maju 1965. Med 5. in 22. metrom smo odstreljevali siromašno rudo; povprečje urana je bilo na meji minimalnega. Tudi po odstreljevanju prve etaže se ruda ni izboljšala. Zato smo odkopavanje prekinili in pričeli z izkopom dveh nadkopov. Nadkop *U-2* je na prostoru, kjer se krovninska rudna leča izklinjuje v levem boku nadkopa, talninska pa v desnem. V nadkopu *UH-1* je bilo okrog 10 m bogatejše uranove rude.

Odkop *H-1* smo nadaljevali junija istega leta, potem ko smo dokončali nadkop. V začetku je bilo odkopno čelo ozko, 2 do 3 m, pozneje smo ga razširili na 5 do 6 m. Ob večjem riziku pa bi ga bili mogli razširiti na 10 m.

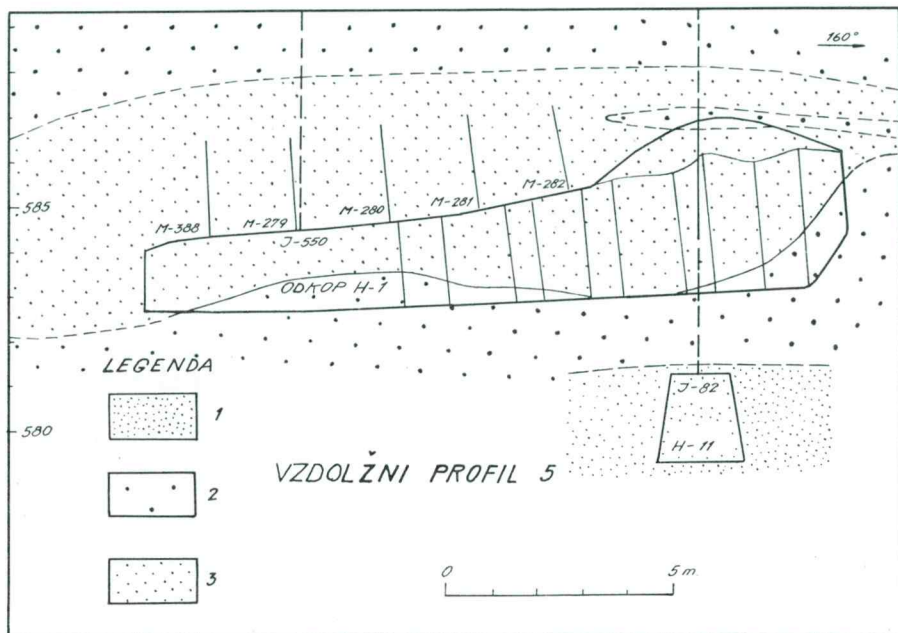
Rudo smo odkopavali po vpadu navzgor proti severovzhodu. V tej smeri se je ruda po 10 metrih izklinila (kot v nadkopu). Nato smo odkopavanje usmerili proti jugojugovzhodu — proti hodniku *H-11* (sl. 7). Po profilu jamskih udarnih vrtin smo z nadkopom *U-11* rudo raziskali po vpadu. V tem nadkopu se je ruda od časa do časa izklinila, podobno kot drugod, kjer smo sledili rudo po vpadu. Tudi v tem prostoru smo našli značilne odebelitve rudne leče z visokim odstotkom urana. Odkopavali smo tudi v bokih *U-11*. Dela smo končali leta 1965.

Zaradi razvejanega in kompliciranega sistema odkopnih čel je bila odkopna višina zelo različna; povečini je znašala 1,8 do 2,5 m. Kot navadno, je bila rudna kontura tudi tu komplicirana; značilno pa je, da se je v glavnem kontrolirala le spodnja kontura, ruda pa je povsod segala do stropa odkopa. V tem odkopu smo nekoliko »tavalili« pri izbiri smeri. Takrat še nismo vedeli, da leže rudne leče diagonalno na smer plasti, in smo odkop usmerjali po vpadu in smeri plasti. Če bi bili odkop usmerili diagonalno, kot v polju B, bi odkopavanje zelo poenostavili (sl. 19).

Ruda in prikamenina sta bili zadosti trdni. Ponekod je bila klivaža močnejše razvita, vendar je bilo možno dobiti zadosti debele frakcije rude za radiometrično separacijo. Boki in strop odkopa so bili stabilni, kljub



Sl. 19. Odkopno polje C
 1 sivi peščenjak, 2 ruda
 Fig. 19. Stopping area C
 1 Gray sandstone, 2 Uranium ore



Sl. 20. Vzdolžni profil odkopa H-1
1 rdeči peščenjak, 2 sivi peščenjak, 3 ruda
Fig. 20. Longitudinal section of the H-1 stope
1 Red sandstone, 2 Gray sandstone, 3 Uranium ore

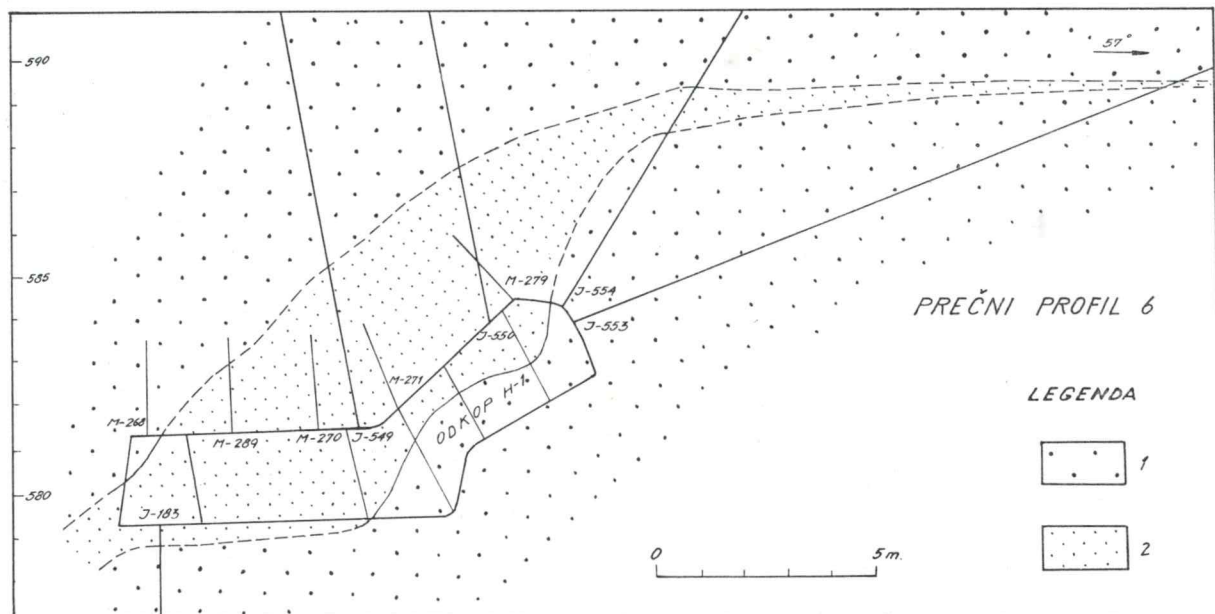
temu smo zaradi velike površine pustili 4 varnostne stebre v rudi in enega v jalovini.

Povprečja urana v rudi na odkopnih čelih so bila nizka, redko so presegla 0,1 % U. Tudi povprečja geološke rude so bila nizka, povečini pod 0,1 % U, posebno na odkopu.

Ekstremno visokih vrednosti urana je bilo malo, izmerili smo jih v nadkopih UH-1 in U-11; v odkopu tako bogate rude ni bilo.

Radiometrična kontrastnost rude je bila tu najnižja v raziskanem delu rudišča. Odkopana ruda iz odkopa H-1 ima enakomerno radiometrično kontrastnost (najnižjo) in je manj primerna za radiometrično separacijo kot ruda v odkopnem polju A. V nadkopu U-11 in hodniku Pi-1 smo odkopavali po celi debelini rudne leče. Zato je bila ruda radiometrično visoko kontrastna. Z odkopom H-1 pa smo zajeli samo spodnji del rudne leče.

Z odkopom H-1 nismo dosegli krovninske konture geološke rude in prav tako ne v drugih odkopih (O₁-P₁, H-291_{II}) in hodnikih. V takšnih primerih smo v strop vrtali udarne vrtine. Kot v hodnikih, smo tudi tu vrtali na razdaljo po 5 m, luknje za odstreljevanje pa so bile v mreži na 2 m. Vrtanje v stropu odkopa H-1 je dalo zelo dobre rezultate, ki so bistveno spremenili podatke, dobljene z odkopavanjem (sl. 20 in 21). Odkop



Sl. 21. Prečni profil odkopa H-1
 1 sivi peščenjak, 2 ruda
 Fig. 21. Cross section of the H-1 slope
 1 Gray sandstone, 2 Uranium ore

H-1 se nahaja v odebeljenem delu rudne leče, ki je ponekod debela celo 5 m (od talninske do krovninske konture). Vzorčevanje vrtin z merjenjem žarkov gama je pokazalo, da je v odebeljenem delu leče bogata ruda, kot npr. v odkopnem polju *B*. Z vrtinami smo našli tudi ekstremno bogato rudo. Odkopali pa smo samo talninski, siromašnejši del rudne leče; zato je bilo povprečje urana v odkopani rudi nizko. V tistih delih leče, kjer so rudarska dela zajela njeno celotno debelino, je bilo povprečje urana sorazmerno visoko, pogosto celo ekstremno visoko (*Pi-1* in *U-11*).

V odkopnem polju *C* je ruda radiometrično zelo kontrastna in je primerna za radiometrično separacijo.

Proti jugu se talninska rudna leča odkopnega polja *C* izklinjuje v hodniku *Pi-1* in v nadkopu *U-2*. V tem stratigrafskem nivoju verjetno obstajajo še druge rudne leče.

Del rudnega telesa, ki smo ga raziskovali z odkopom *H-1* in sosednjimi rudarskimi deli, lahko imamo za podaljšek rudne leče iz odkopa *H-291_{III}* na obzorje 580 m. Tudi ta podaljšek ima diagonalno smer. Predpostavljamo, da je rudna leča dolga nad 50 m in široka 10 m do 20 m. Ta del rudnega telesa verjetno vsebuje več tisoč ton rude.

Dokumentacija o eksploatacijskem raziskovanju

Kot osnovno dokumentacijo eksploatacijskega raziskovanja smo izdelali skice čel in bokov rudarskih del. Vsako odkopno čelo smo geološko kartirali in preiskali radiometrično. Kjer smo našli uranovo rudo, smo čelo radiometrično vzorčevali po metodi vzorčevanja v točki. Rezultate smo vpisali na geološki načrt odkopnega čela.

K osnovni dokumentaciji spadajo tudi rezultati masovnega vzorčevanja odkopane rude. Vzorci so bili težki povečini 20 do 40 ton, izjemoma so tehtali več ali manj. Odstotek urana smo določili z radiometrično in kemično analizo reducirane laboratorijske količine materiala. Radiometrično smo vzorce analizirali v bazi geološke službe v Gorenji vasi. Prednost te metode je, da smo hitro dobili podatke o odstotku urana, ki smo jih nato uporabili za neposredno kontrolo delovnih postopkov pri odkopavanju in masovnem vzorčevanju rude. Po radiometrični metodi moremo s posebnimi meritvami določiti ekvivalentne odstotke radija v rudi (Omaljev, rokopis).

Kemično pa so vzorce analizirali v laboratoriju Inštituta za tehnologijo jedrskih in drugih mineralnih surovin v Beogradu. Rezultate kemičnih analiz smo prejeli prepozno in jih zato nismo mogli upoštevati v delovnem postopku.

V dokumentaciji o poskusnem odkopavanju smo obdelali samo kemične analize masovnih vzorcev. V poročilih smo radiometrične analize primerjali s kemičnimi; rezultati so se v glavnem ujemali, včasih pa so se precej razlikovali, imeli smo celo primere izrazite neskladnosti. S statističnega vidika so bile razlike majhne in smo jih lahko zanemarili. Navadno imamo kemične analize za bolj zanesljive, vendar med delovnim procesom zadostujejo radiometrične analize.

Povprečje urana v odkopani rudi smo računali s pondiranjem po obrazcu:

$$C = \frac{q_1 c_1 + q_2 c_2 + \dots + q_n c_n}{q_1 + q_2 + \dots + q_n} \quad (1)$$

C = povprečje vzorčevane rude

q = teža vzorca

c = odstotek urana v posameznem vzorcu (kemična analiza)

Problem je predstavljalo računanje povprečja urana v odkopani rudi na podlagi podatkov radiometričnega vzorčevanja v točki. Odstotek urana v rudi je zelo neenakomeren; zato smo morali povprečje računati po komplicirani metodi pondiranja:

$$C_s = \frac{C_1 L_1 + C_2 L_2 + \dots + C_n L_n}{L_1 + L_2 + \dots + L_n} \quad (2)$$

C_s = povprečje urana v rudni izkopini

C = povprečje urana v rudni izkopini na odkopnem čelu

L = vplivno polje odkopnega čela (pol razdalje do sosednjih odkopnih čel)

Uporabo tako kompliciranega računa otežuje še dejstvo, da odkopna čela niso vzporedna med seboj.

Najenostavnejša je uporaba metode aritmetične sredine:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n c_i}{n} \quad (3)$$

C = povprečje urana v rudni izkopini

c_i = odstotek urana v posamezni vzorčevani točki

n = skupno število vzorčevanih točk

Z uporabo formule (3) zanemarimo lokacijo vzorčevanja. Vsi vzorci, izmerjeni v tistem delu rudne leče, ki ga odkopavamo, so enakovredni; to pomeni, da vsak vzorec predstavlja enako količino rudne izkopine. Ta predpostavka sicer ni čisto točna, vendar je pa z vidika statistike zadosti točna, da jo v praksi lahko uporabimo.

Povprečje geološke rude računamo po istih kriterijih kot povprečje v rudni izkopini:

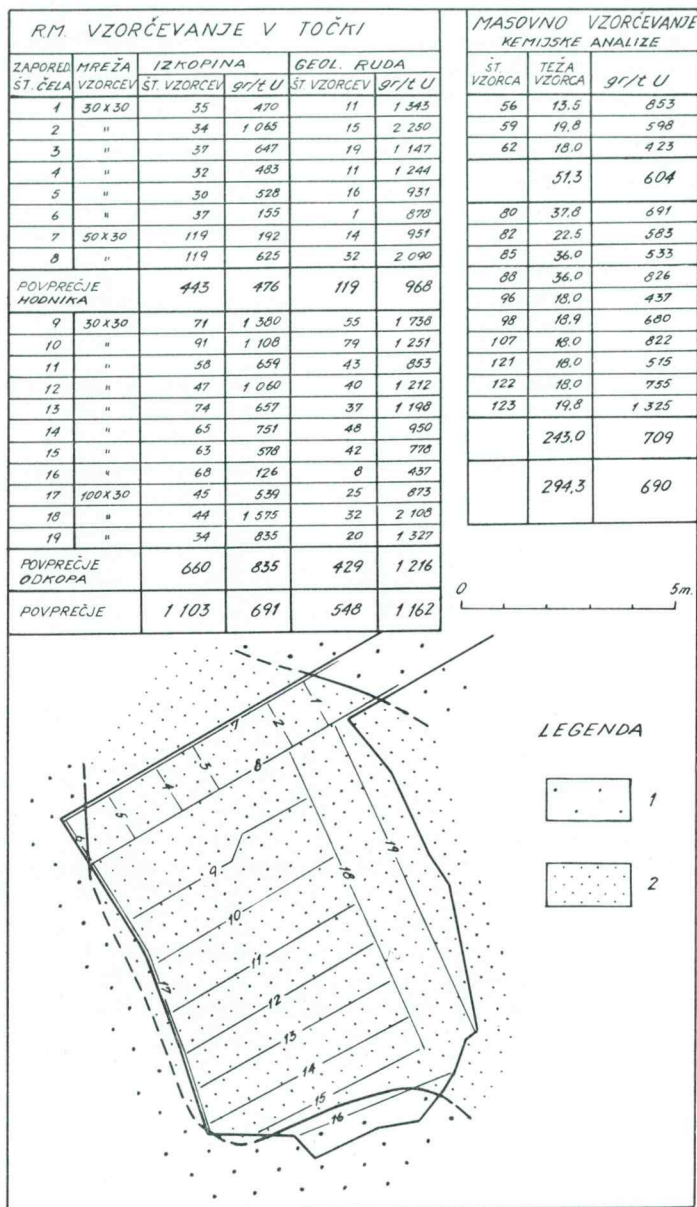
$$C_g = \frac{\sum_{i=1}^m c_i}{m} \quad (4)$$

C_g = povprečje urana v geološki rudi

c_i = odstotek urana v posamezni vzorčevani točki s prek 0,03 % U

m = skupno število vzorcev geološke rude

Slika 22 kaže dokumentacijo o vzorčevanju enega izmed odkopov in najkrajšega hodnika *Or-P*. Na tlorisu hodnika in odkopa so vrisana odkopna čela, označena z zaporednimi številkami 1 do 19. Tabela vsebuje statistične podatke o vzorčevanju odkopnih čel, posebej za rudno izkopino in geološko rudo. Povprečja odkopane rude so podana posebej za hodnik in odkop ter skupno. Radiometrično smo izmerili 1103 vzorcev. Geološka ruda je sorazmerno bogata; pogosto vsebuje nad 0,1 % U. Debelina rudne



Sl. 22. Odkop O₁-P, dokumentacija eksploatacijskega raziskovanja
1 sivi peščenjak, 2 uranova ruda

Fig. 22. The O₁-P stope, records of the mining explorations
1 Gray sandstone, 2 Uranium ore

leče je bila majhna; zato je bila z rudo odkopana večja količina jalovine, zlasti v hodniku. Na odkopu so odkopno višino zmanjšali, kljub temu pa so zajeli okrog 35 % jalovine in siromašne uranove rude, ker so rudne konture vijugaste.

V tabeli o masovnem kemičnem vzorčevanju rudne izkopine podajamo težo vzorcev in vsebnost urana. Iz hodnika smo vedno dobili manj rudnega materiala za vzorec (pod 20 ton), pogosto pa tudi iz odkopa. Tudi tu smo podali povprečje posebej za hodnik in odkop ter skupno, da bi podatke mogli primerjati z jamo. Značilno je, da je razlika radiometričnega vzorčevanja za hodnik negativna, za odkop pa pozitivna. Povprečja celotne količine rude se ujemajo. Pri drugih odkopih so povprečja radiometričnih vzorcev večja od kemičnih, kar je normalno, ker se ruda pri odkopavanju in med transportom osiromaši.

Z vidika statistike dobimo po metodi radiometričnega vzorčevanja točnejše povprečje urana v rudi, ker večje število vzorcev več prispeva k točnosti vzorčevanja kot natančni vzorci v manjšem številu (J a n k o - v i č , 1957). Radiometričnih vzorcev je bilo 85-krat več kot kemičnih. Na vsak masovni vzorec odpade povprečno 22,6 tone rudne izkopine, na radiometrični vzorec pa komaj 0,27 tone.

V dveh letih poskusnega odkopavanja v prvem delu I. rudonosnega paketa smo radiometrično izmerili več kot 18 000 vzorcev. Na vsak vzorec odpade prek 0,4 tone izkopine. V istem času smo vzeli 313 masovnih vzorcev; nanje odpade povprečno 24,6 tone rudne izkopine. Gostota radiometričnega vzorčevanja je okrog 60-krat večja kot gostota masovnega kemičnega vzorčevanja.

POVZETEK

Uranova ruda na Žirovskem vrhu je v sivem grödenskem peščenjaku in konglomeratu. Rudonosne plasti z višjim odstotkom urana, ki so gospodarsko pomembne, sestojijo iz psamitov in psefitov, sedimentiranih v II. in III. sedimentacijskem ciklu. Uranovo orudnenje je vzporedno s plastovitostjo.

Stratigrafsko najvišje rudonosne plasti smo označili kot I. rudonosni paket v peščenjaku III. sedimentacijskega cikla.

Od uranovih mineralov je razvita samo smolnata uranova ruda v vezivu sivega peščenjaka in konglomerata. Ruda in prikamenina vsebujeta malo sulfidov (pirit, halkopirit, galenit in sfalerit).

Prelomi, razpoke in klivaža so porudni in niso rudonosni.

Rudišče raziskujemo z vrtanjem s površja in iz jame, I. rudonosni paket pa z rudarskimi deli in jamskimi vrtinami v obsegu $1400\text{ m} \times 70\text{ m}$ do 150 m. Da bi dopolnili podatke o rudnih telesih, smo v delu I. rudornega paketa okrog površinske vrtine B-1 uporabili metodo eksploatacijskega raziskovanja. Cilj teh dopolnilnih raziskav je bil, z rudarskimi deli omejiti rudna telesa in raziskati kvaliteto rude.

Za razmejitev rude in jalovine smo preliminarно določili odstotek 0,03 % U.

Siromašno orudnenje pod mejnim odstotkom imamo za jalovino.

Rudo smo definirali na dva načina: rudna izkopina je celotna količina materiala s povprečjem nad 0,03 % U, pri tem je vračunana jalovina na odkopnem čelu. Geološka ruda pa je omejena z izoprocentno črto 0,03 % U (z rudno konturo).

Na odkopnih čelih smo uvedli radiometrično vzorčevanje v točki. Odkopano rudo smo vzorčevali po metodi masovnega kemičnega vzorčevanja.

Povprečje urana v rudi, dobljeno radiometrično, je navadno višje kot povprečje po masovnem kemičnem vzorčevanju. To je normalno, ker se ruda pri odkopavanju in med transportom osiromaši. Gostota podatkov po radiometrični metodi vzorčevanja je veliko večja kot po metodi masovnega kemičnega vzorčevanja.

V I. rudonosnem paketu so razvita sorazmerno velika rudna telesa, ki vsebujejo po več tisoč ton rude. Konture rudnih teles so vijugaste, kar kaže na njihovo komplicirano zgradbo. Z jalovimi presledki so rudna telesa razdeljena na rudne leče. Rudna telesa so različno debela, pogoste so odebelitve, nekatera rudna telesa imajo obliko molka.

Rudna telesa so vzporedna s plastovitostjo. Podolžne osi rudnih leč so diagonalne na smer plasti. Uran je v rudi zelo neenakomerno porazdeljen, kar kažejo analize številnih vzorcev z odkopnih čel. Povprečje urana na odkopnih čelih se manj spreminja.

Odstotek urana v geološki rudi je sorazmerno visok. Odebeljeni deli rudnih leč vsebujejo navadno najbogatejšo rudo.

Eksploatacijsko raziskovanje je dalo nove podatke o rudnih telesih in dopolnilo rezultate raziskovalnih del v I. rudonosnem paketu.

MINING EXPLORATION IN THE URANIUM ORE DEPOSIT OF ŽIROVSKI VRH

Veljko Omaljev

With 22 textfigures

After several years of prospecting and other detailed works in the exploration of the Žirovski Vrh uranium ore deposit, the planning and the execution of the mining exploration was started, i. e. the exploration of the volume, forms and average values of the useful component of the ore bodies by the so-called trial exploitation. This method of the exploration of the ore bodies is a complement to the detailed exploration.

For the mining exploration, a part of the first ore-bearing packet around the bore hole B-1 has been chosen. The area is relatively small, of about 100×100 m.

The first ore-bearing packet lies in the sequence of the grey sandstone beds belonging to the 3rd rhythm of sedimentation (Om al j e v, 1967). The hanging wall and the foot-wall of this ore-bearing lithological member are the red sandstone and slate beds. The first ore-bearing packet lies in the lower half of the mentioned lithological member.

The general strike of the beds in the deposit corresponds with the dinaric direction (NW-SE); the beds are dipping SW. The local strike of the beds in the area chosen for the mining exploration shows slight deviation towards NNW-SSE.

The uranium ore is monomineral, represented by the pitchblende developed in the cement matter of the grey sandstone. Besides the pitchblende, in the ore some poor sulphides are also present (pyrite, chalcopyrite, galena, sphalerite, etc.). Sulphides are frequent in the barren parts of the sandstones and conglomerates, and sometimes also in the quartz-calcite veins.

In the grey sandstone the organic matter occurs, frequently accompanied by the uranium ore and sulphide minerals. The individualized organic matter has been determined as anthracite approaching to graphite.

The uranium ore is controlled by the grey colour of the sandstone, i. e. by a reduction environment. The structural control of the mineralization is the stratification.

The uranium ore is absent in the ruptures (faults, fissures and cleavage planes), and in the quartz-calcite veins. In the deposit, only the post-mineralization tectonic is represented.

The ore deposit has come to place by the infiltration of the uranium by the ground-waters during the diagenesis of the sediments (Omaljev, 1967). The uranium has been deposited from the ground-waters at the geochemical barriers. A later migration of uranium, except in the supergeneous conditions, is not probable.

The ore bodies are of elongated shape. In the consequence of detailed exploration work it has been found that the elongation corresponds to the strike of the stratification.

The uranium ore (with the exception of the oxydized ore) is macroscopically not perceivable, except in the case of extremely rich ores (percentages of more than 1 % U). The detection of the ore is exclusively instrumental, and the delimitation of the ore bodies is executed on the base of the sampling results.

As the separation limit of ore and the barren rock in the trial exploitation of the ore bodies, the average value of 0,03 % U has been preliminarily fixed. As the minimum percentage of the run of mines, the same average value of 0,03 % U has been previously fixed.

The mining exploration of the given part of the ore deposit consisted of the preparatory and development mining works, and of partial or complete stoping of the ore lenses. To attain the delimitation line of 0,03 % U in the rock, a certain quantity of the barren rock has also to be stoped with the ore. Thus two conceptions of the ore had to be established: the geological ore in the limits of the 0,03 % U contour line, and the stoped ore — the run of mines with the average value of more than 0,03 % U.

To distinguish the ore from barren rock in the course of stoping, a special regime in the succession of individual stoping operations had to be established.

1. Before the blasting on the face of the stope, the sampling is executed by the radiometric sampling method in the point, a method worked out by the author in this ore deposit (Omaljev, in print). On the base of the sampling results, the geological ore is delimited on the stope face, and the average values of the geological ore and the run of mines are calculated.

2. According to the results of sampling, the stoped ore is blasted by benches.

3. The run of mines is chemically analysed in bulk samples of minimum weight of 20 tons.

4. The records of the mining exploration consist of the plans of sampling of the stope faces scaled 1:20 to 1:100, and of the results of the bulk chemical analyses.

On the plans of the sampling of the stope faces, the ore is represented by isolines of equal percentage (Fig. 10). On the base of these records, the plans of the exploitation blocks are prepared on an appropriate scale (Fig. 9). On the plans of the exploitation blocks the limits of ore are drawn, and, if necessary, also other isolines of equal percentage.

The ore sampling results are shown in the tables on the plans of the exploitation blocks, separately for each sampling method.

By the mining exploration it has been established that in the explored area relatively big ore bodies and lenses are developed, containing several thousands tons of ore.

The average values of the U in the ore bodies vary in broad limits, most frequently from 0,05 to 0,02 % U .

It has been established that the ore lenses are elongated diagonally to the strike of the beds.

The thickness of the ore bodies is very variable. The ore lenses present often thickenings and narrowings on rather short distances. The greatest thickness attained is of 5 m.

The mother rock and the ore are solid and hard. The stopes need not be timbered nor filled. The presence of faults and of intensively expressed cleavage demands somewhere more frequent security pillars in the stopes.

By the mining exploration some qualitatively new knowledge on the ore bodies has been obtained, otherwise not attainable by other exploration methods. The results of it will be useful in the interpretation of the results of the detailed exploration of the first ore-bearing packet, and of the whole ore deposit.

LITERATURA

Gornik, I. 1964, Predlog radova na istražnom otkopavanju rudnog ležišta Gorenja Vas. Fond stručne dokumentacije IGRI. Beograd.

Ivanović, Đ. 1961, Regionalna i detaljna prospekcija permskih greden-skih pešćara u okolini Idrije, Cerkna, Žirijska i Gorenje Vasi. Fond stručne dokumentacije IGRI. Beograd.

Janković, S. 1957, Oprobavanje i proračun rezervi mineralnih sirovina. Beograd.

Jokanović, V., Omaljev, V. i Pavlović, A. 1964. Istraživanje urana u permskim sedimentima Slovenije u 1963. godini. Fond stručne dokumentacije IGRI. Beograd.

Kossmat, F. 1910, Erläuterungen zur Geologischen Karte Bischoflack und Idria. Wien.

Kreiter, V. M. 1961, Poiski i razvedka mestoroždenij poljeznih iskopaemih, časč 2. Moskva.

Om aljev, V. 1965, Ležište uranijuma Žirovski vrh. Nuklearna energija broj 3/65. Beograd.

Om aljev, V. 1966, Detaljno istraživanje I rudonosnog paketa u ležištu uranijuma Žirovski vrh. Nuklearna energija broj 5/66. Beograd.

Om aljev, V. 1967, Razvoj gredenskih slojeva i uranove mineralizacije u ležištu urana Žirovski vrh. Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, svezka 3. Beograd.

Om aljev, V. 1967, Kontrasnost uranijumovih ruda. Nuklearna energija broj 6/67. Beograd.

Om aljev, V. i Ramovš A. 1967, Rudišče urana v Žirovskem vrhu. Loški razgledi XIV. Škofja Loka.

Om aljev, V., u štampi, Primena nove metode radiometrijskog oprobavanja u tački.

Om aljev, V., u rukopisu, Oprobavanje uranijumovih ruda.

Puhaljskii L. Č. 1963, Teorija kontrasnosti uranovih rud. Gosatomizdat. Moskva.

Radusinović D. 1967, Mineraloški sastav i geneza uranskog ležišta Žirovski vrh. Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, sveska 3. Beograd.

Vukasović M. 1963. Sekundarni minerali urana iz oblasti Žirovskog vrha kod mesta Gorenja vas u Sloveniji. Radovi Sektora za istraživanje nuklearnih i drugih mineralnih sirovina. sveska 2. Beograd.

Simić N. 1967, Matematička obrada podataka radiometrijskog gama oprobavanja, uzroci sistematskih grešaka i način njihovog otklanjanja. Radovi Instituta za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, sveska 3. Beograd.