



Geološka spremljava poskusnega odkopa uranove rude na Žirovskem vrhu

Geological control of trial excavation of Uranium ore in Žirovski vrh

Franci ČADEŽ

Gorje 7, SI-5282 Cerkno, e-mail: fcadez@gmail.com

Prejeto / Received 28. 12. 2022; Sprejeto / Accepted 20. 3. 2023; Objavljeno na spletu / Published online 4. 8. 2023

Ključne besede: uranova ruda, poskusno odkopavanje, grödenske klastične kamnine, Žirovski vrh

Key words: uranium ore, trial excavation, Val Gardena clastic rocks, Žirovski vrh

Izvleček

Leta 1981–1983 je bilo na Rudniku Žirovski vrh pred pričetkom redne proizvodnje izvedeno poskusno odkopavanje uranove rude za preverjanje metod geološke in radiometrične kontrole ter tehničnih metod pridobivanja. Poskusni odkop je bil v bloku 1, na skrajnem severozahodnem delu rudišča v zgornji gubi dvojne S strukture. V tem bloku se je orudjenje nahajalo samo v horizontu sivega peščenjaka debeline 20–30 m. Z geološko spremljavo odkopavanja smo potrdili, da so bili peščenjaki odloženi v sekvencah debelih od par dm do več kot 2 m. Sekvenca je običajno pričejala z debelozrnatim peščenjakom, večkrat so bili na bazi prisotni še klasti kremena in muljevca. Navzgor je debelozrnat peščenjak pogosto prehajal v srednjezrnatega, redkeje pa še v drobnozrnatega in meljevca. V peščenjaki je bila značilna prisotnost organskih drobcev, ki so v diagenezi ustvarjali redukcijsko okolje v katerem se je iz podtalnice izločal uran. Najpogosteje se je orudjenje nahajalo v debelozrnatih peščenjaki, običajno v debelejših sekvencah. Orudjenje se je zato pojavljalo v več nivojih debelih navadno pod 1m, kjer se je združevalo je skupna debelina preseгла tudi 5 m. Dolžina sklenjenega orudenja v vzdolžni smeri je znašala do 150 m, širina od nekaj metrov do več kot 40 m. V vmesnih prekinitvah orudenja smo opazovali, da so peščenjaki iz temnosive in sive barve prehajali v svetlosive in zelenosive, ki so bili le siromašno orudeni ali jalovi. V vzdolžni smeri se je tak prehod zgodil med prerezi P-35 in P-35a, kjer se je tudi zaključilo odkopavanje. V jami sta bila raziskana še prereza P-36 in P-37, kjer pa se je pojavljal pretežno zelenosiv peščenjak z le redkimi lečami siromašnega orudenja. S površinskimi vrtinami sta bila dlje proti zahodu raziskana tudi še dva prereza oddaljena 1,3 in 2,8 km od jamske zgradbe. V teh vrtinah je bilo ugotovljeno nastopanje sivih in zelenosivih peščenjakov z zelo redkimi sledovi orudenja, ki so se menjavali z bolj drobnozrnatimi različki (muljevci), ostanki organske snovi pa so bili v njih zelo redki. Blok 1 je bil zato mejni blok na SZ strani rudišča, predviden za pridobivanje.

Abstract

In 1981-1983, before the start of full production, trial mining of uranium ore was carried out at the Žirovski vrh mine to test the methods of geological and radiometric control as well as the technical methods of extraction. The trial excavation was done in block 1, in the extreme NW part of the mine in the upper fold of the double S structure. In this block, the ore deposits bodies were found only in the horizon of grey sandstone about 20–30 m thick. Geological monitoring of the excavation confirmed that the sandstones were deposited in sequences from a few dm to more than 2 m thick. The sequence usually graded bed started with coarse-grained sandstone, with pebbles of quartz and mudstone occasionally present at the base. Upwards, coarse-grained sandstone often passed into medium-grained, and more rarely into fine-grained sandstone and siltstone. The sandstones were characterized by the presence of organic fragments, which created an anoxic environment during diagenesis and that in turn enabled uranium to precipitate from the groundwater and concentrate in the host rock. Most often, ore bodies were found in coarse-grained sandstones, usually in several sedimentary sequences. As such, ore bodies appear in several sequences, usually under 1 m thick. In some places ore bodies can join together, exceeding 5 m. The length of the uninterrupted ore body in the longitudinal direction was up to 150 m, the width ranges from a few meters to more than 40 m. In the intermediate areas where the ore body is interrupted, we observed that the sandstones changed from dark grey and grey to light grey and greenish grey. These sandstones were usually barren or contained only small concentrations of uranium. In the longitudinal direction, such a transition took place between cross-sections P-35 and P-35a, where excavation was completed. Cross-sections P-36 and P-37 were also investigated inside the mine, where predominantly greenish-grey sandstone with only rare lenses of poor uranium concentrations appeared. Further to the west, two cross-sections 1.3 and 2.8 km from the mine area were also explored with surface boreholes. Grey and greenish-grey sandstones with very rare remains of organic matter and very rare traces of mineralisation were found in these boreholes, alternating with siltstones. Block 1 is therefore considered the boundary block on the NW side of the mine, intended for extraction.

Uvod

Na severovzhodnih pobočjih Žirovskega vrha je bila leta 1960 odkrita uranska mineralizacija znotraj grōdenskih klastičnih sedimentnih kamnin srednje permske starosti. Po skoraj dveh desetletjih raziskovanj je bil leta 1977 izdelan investicijski program in naslednje leto sprejeta odločitev o izgradnji rudnika. Leta 1981 je bil izdelan Glavni rudarski projekt (Rudis Trbovlje) in v njegovem sklopu še Rudarski projekt poskusnega odkopavanja (Spasojević, 1981). Z izdelavo odkopnih priprav se je začelo še istega leta, se nadaljevalo s poskusnim odkopavanjem, ki se je zaključilo v letu 1983. S poskusnim odkopavanjem se je poleg rudarsko tehnoloških možnosti pridobivanja preverjalo tudi postopke načrtovane geološke in radiometrične spremljave. V tem članku podajamo ugotovljene značilnosti geološke sestave in z njo povezanega orudenja.

Kratek pregled predhodnih raziskav in poskusnih odkopavanj

Rudišče so po odkritju leta 1960 prvih 10 let raziskovali strokovnjaki Geoinstituta iz Beograda. Poleg površinskih radiometričnih raziskav so že v letu 1961 začeli z vrtanjem površinskih vrtin in izdelavo prvega podkopa. Naprej so raziskave potekale vzporedno. S površine so vrtali globoke strukturne vrtine s katerimi se je ugotavljalo prostorsko razprostiranje grōdenskih plasti in prisotnost uranskega orudenja. Z detajlnimi raziskavami v jami so iz vzdolžne smerne proge izdelovali prečnike, iz njih pa izvajali strukturno in udarno vrtanje v mreži 50×50 m oziroma 50×5 m. S strukturnimi vrtinami so ugotavljali razvoj grōdenskih plasti v prostoru in znotraj njih predvsem položaj orudenih plasti. Z udarnimi vrtinami pa so določali rudne intervale, ki so jih povezovali med seboj v rudna telesa pri čemer pa so bili velikokrat v dilemah, katere intervale povezovati med seboj. Rudne intervale se je določalo le z radiometričnimi meritvami, enako kot tudi v progah, kjer so ga našli. Menili so, da se rude na izgled ne da ločevati od jalovine. Sklenili so, da bodo do boljšega poznavanja in povezovanja orudenja v prostoru prišli le s poskusnim odkopavanjem.

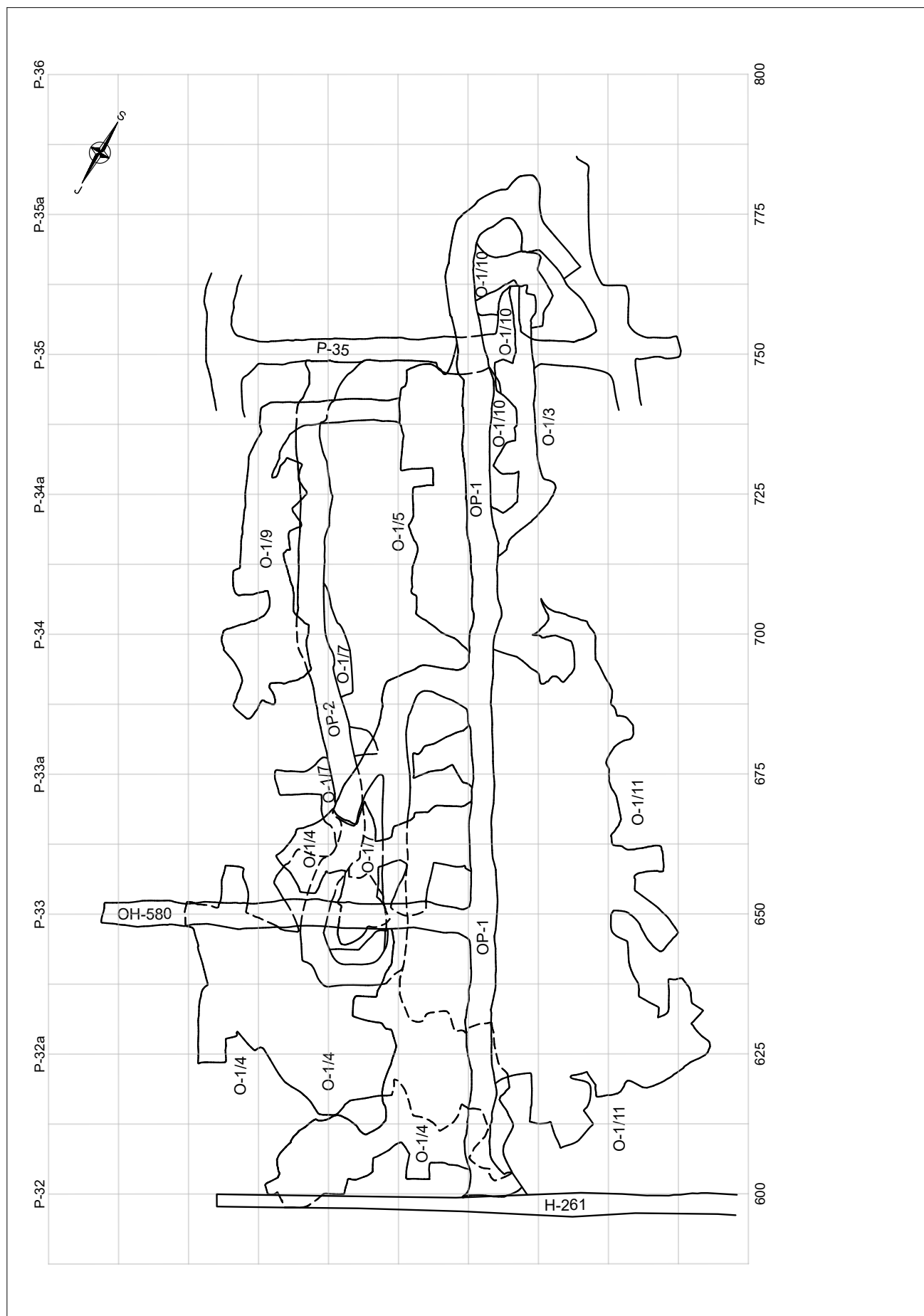
Med leti 1964 in 1968 so izdelali dva poskusna odkopa na zgornjem obzorju 580, ki je bilo takrat edino razvito. Skupno so pridobili preko 10.600 t rude s povprečno vsebnostjo nekaj čez 1000 g U/t (0,1 %). Mejo ruda-jalovina so postavili pri 300 g U/t (0,03 %), kar je obveljalo za celotno obdobje delovanja rudnika. Njihova bistvena ugotovitev je bila, da orudenje načeloma sledi plastovitosti, njegova debelina pa da je zelo spremenljiva. Zara-

di zapletenosti orudenja so menili, da ima oblika orudenja na prerezi vrtin le statistično vrednost (Omaljev, 1967a, 1969).

V letu 1970 je dotedanjo rudarsko in geološko ekipo Geoinstituta zamenjal Geološki zavod iz Ljubljane (GZL). Nadaljevali so s konceptom raziskav, ki so ga razvili Beograjčani. Ker pa se je ekipa zamenjala v celoti so poskusno odkopavanje v letih 1971–1975 izvedli tudi delavci in strokovnjaki GZL. S tem, ko so z odkopavanjem sledili orudenju, so pridobili praktična znanja o obliki in naravi orudenja, istočasno pa že tudi rudo za tehnološke teste njene predelave in preverjanje možnosti radiometričnega separiranja. Skupno je bilo v tej fazi na 5 različnih lokacijah na spodnjih dveh obzorjih 430 m in 480 m pridobljeno 5.900 t rude z vsebnostjo 1400 g U/t. Tudi tu so ugotavljali, da orudenje večinoma sledi plastovitosti vendar so navajali še primere prečnega poteka orudenja glede na plastovitost, kar pa je bila največkrat posledica dejstva, da v tem času še niso poznali strukture dvojne gube. V orudenih delih so prav tako opazili pomembno prisotnost organske snovi, hkrati pa so menili, da se ob orudenju poveča tudi delež karbonatov (Florjančič, A.P. et al., 1973).

Poskusno odkopavanje v letih 1981–1983

Z ustanovitvijo Rudnika urana Žirovski vrh v letu 1976 je ta postopoma prevzemal tudi izdelavo rudarskih in raziskovalnih del od Geološkega zavoda. V letu 1981 se je pričelo s poskusnim odkopavanjem v bloku 1, ki leži na skrajnem severozahodnem delu rudišča. Po njegovem zaključku leta 1983 se je nadaljevalo z rednim odkopavanjem, katerega obseg se je količinsko in prostorsko postopno povečeval tako, da je prav v letu njegovega prenehanja dosegel polno načrtovano proizvodnjo. V prvem polletju leta 1990 je bilo namreč odkopano 81.000 t uranove rude, kar je bilo polovica načrtovane letne proizvodnje 160.000 t. S poskusnim odkopavanjem v letih 1981–1983 se je pridobilo 36.542 t izkopane rude z vsebnostjo 827 g U_3O_8 /t oziroma 30,218 t U_3O_8 . Hkrati se je pridobilo še 10.427 t revne rude z vsebnostjo 220 g U_3O_8 /t in 2,328 t U_3O_8 . Ta izkopana ruda je bila pridobljena iz 24.202 t radiometrično izmerjene rude, ki je imela vsebnost 1280 g U_3O_8 /t. Zaradi razredčenja radiometrično izmerjene rude z jalovino pri odkopavanju se je njena vsebnost v izkopani rudi znižala, količina pa povečala. S koncem sedemdesetih let se je s pričetkom izračunavanja zaloga za potrebe Investicijskega programa, vsebnosti začelo prikazovati v g U_3O_8 /t. Takrat se je tudi rez jalovina-ruda začel podajati v isti obliki, kar je predstavljalo delno znižanje vrednosti glede



Sl. 1. Tlorisna karta odkopnih priprav in odkopov.

Fig. 1. Map-view of excavation areas.

na predhodno obliko podajanja koncentracij v g U/t ($1 \text{ g U}_3\text{O}_8 = 0,848 \text{ g U}$).

Po Rudarskem projektu (Spasojević, 1981) sta se najprej izdelali dve odkopni pripravi OP-1 in OP-2 ter zračilni prečnik OH-580. Te priprave so se navezovala na obstoječe jamske proge in z njimi se je rudonosno plast odprlo po dolžini, širini in višini (sl. 1). OP-1 se je pričela iz prečnika H-261 na obzorju 580 in prerezu P-32 ter se spuščala do višine 560 m v prerezu P-35a, kjer se je zaključila v prečniku P-35. Druga priprava je začnjala v tem istem prečniku le bolj jugozahodno in se dvigovala po orudeni plasti ter se med prerezoma P-33a in P-34 priključila na prvo. Odkopne priprave so bile locirane tako, da so v največji meri presekala predhodno raziskana orudjenja. Iz teh odkopnih priprav so se potem izdelovali odkopi levo in desno do koder se je orudjenje širilo (sl. 1).

Postopki geološke in radiometrične kontrole odkopavanja

Za orudjenje z uranom je značilno, da ga s prostim očesom ne vidimo, ker je podobne sive barve kot prikamnina. Zato se njegovo prisotnost in količino ugotavlja z radiometričnimi meritvami. Tako pri izdelavi odkopnih priprav kot tudi pri poznejšem odkopavanju smo izvajali delovne operacije s katerimi smo ugotavljali obliko in kvaliteto orudjenja na vsakokratnem čelu in pozneje v fazi miniranja, nakladanja in odvoza na deponijo (Lavrenčič et al., 1984). Ti postopki so vključevali:

- geološko kartiranje čela,
- radiometrično izmero čela,
- karotažo minskih vrtin,
- odločitev o obliki selektivnega odstrela,
- radiometrično izmero izkopnine.

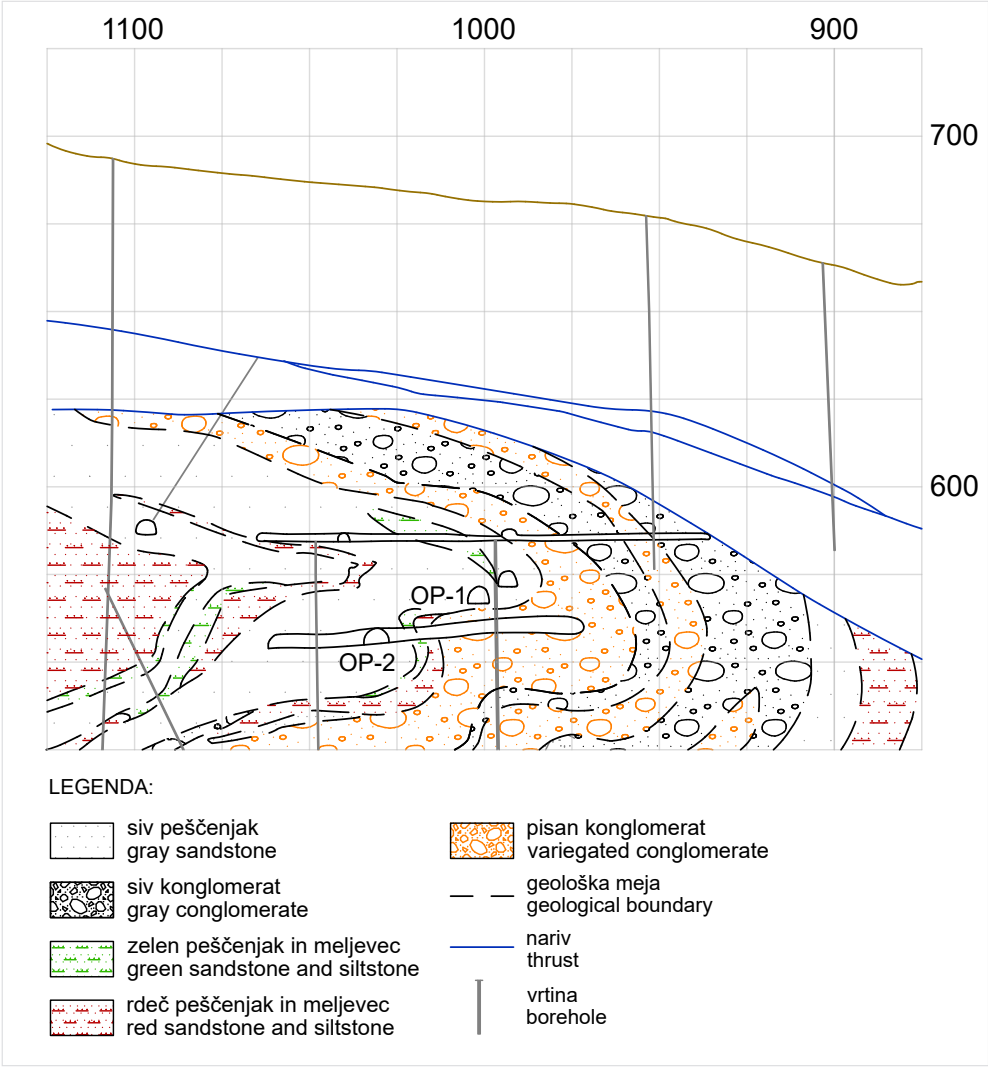
Z geološkim kartiranjem smo ugotavljali barvo in zrnastost klastičnih kamnin, prisotnost organske snovi, sedimentne teksture in tektonske značilnosti. Radiometrična izmera se je izvajala z diferencialnimi merilniki gama sevanja, ki so pokazali na površinsko obliko orudjenja na čelu. S tem se je lahko prilagajalo lego zalomnih vrtin in s tem obliko selektivnega odstrela. S karotažo minskih vrtin, kjer smo uporabljali merilnike z Geiger-Müllerjevo sondo, se je potem ugotavljalo obliko in kvaliteto orudjenja po celotni globini odstrela (običajno 1,4 m). Podatki o vsebnosti urana iz minskih vrtin so služili za določanje vsebnosti radiometrično izmerjene rude in vsebnosti rudnega in jalovinskega odstrela ter določanje razredčenja in odkopnih izgub. Vsa izkopanina rudnega ali jalovinskega odstrela se je po izvozu iz jame na kamionih še enkrat radiometrično izmerila s

pikanjem s T sondo in merjenjem v radiometričnih vratih, pozneje pa samo še v radiometričnih vratih, kjer se je vsak kamion še stehal. S tem je bila vzpostavljena celovita evidenca odkopavanja od čela v jami do izkopanine na deponijah.

Geološke razmere pri odkopavanju

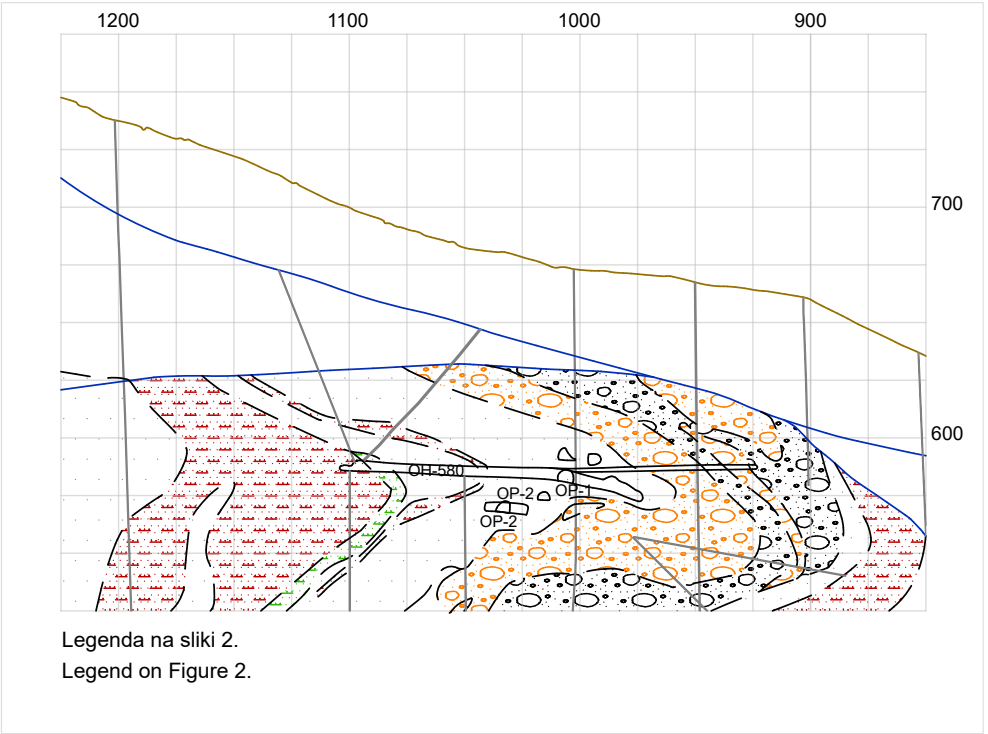
Blok 1, kjer se je izvajalo zadnje poskusno odkopavanje, leži na skrajnem severozahodnem delu rudišča. S predhodnimi raziskavami, od kartiranja raziskovalnih prog do raziskovalnih vrtin, je bilo ugotovljeno, da bo poskusno odkopavanje potekalo v zgornji gubi dvojne S strukture rudišča, ki sta jo dokazala Lukacs in Florjančič (1974). Orudjenje je vezano le na najstarejši, sivi del grōdenske formacije, kar so ugotavljali tako geologi Geoinstituta kot Geološkega zavoda. Budkovič (1980) jo je poimenoval siva formacija za razliko od višje ležečih pretežno rdeče obarvanih klastitov, ki jih je uvrstil v rdečo formacijo. Novejšo razčlenitev grōdenskih klastitov je pozneje izdelal Mlakar, ki je celotno grōdensko formacijo razdelil na 6 členov, od katerih je najstarejši Brebovniški člen, ki je ekvivalent Budkovičeve sive formacije (Mlakar & Placer, 2000). Najuporabnejšo nadaljnjo razčlenitev sive formacije oziroma Brebovniškega člena za potrebe rudarjenja je podal Budkovič (1980). Na osnovi različne zrnivosti in barve je sivi del grōdenske formacije razdelil na 10 horizontov, orudjenja z uranom pa nastopajo v 4., 5., 6. in 8. horizontu. Skupaj z vmesnim jalovim 7. horizontom tvorijo rudonosno cono (Budkovič, 1980). V bloku 1 se je orudjenje nahajalo in odkopavalo le v 6. horizontu, v ostalih horizontih rudonosne cone orudjenja tu ni bilo ali pa je bilo presiromašno za izkoriščanje. Iz raziskanih prečnih prereзов v bloku 1 izhaja, da je debelina 6. horizonta v bloku 1 znašala med 20 in 30 m (sl. 2 in sl. 3).

Pri izdelavi odkopnih priprav smo ugotovili, da so te skorajda v celoti potekale znotraj rudonosnega peščenjaka 6. horizonta, le OP-1 se je v spodnjem delu, kjer se je navezala na prečnik P-35 pričnjala še v talninskih rdečkastih in zelenkastih peščenjakih in konglomeratih, ki pripadajo 5. horizontu (sl. 2). Zračilni prečnik OH-580 je v začetnem delu, kjer se je pričnjel v OP-1, potekal v orudenem peščenjaku, v drugi polovici pa je nastopal najprej tanek horizont rdečkastih in zelenkastih peščenjakov in meljevcev (7. horizont), sledili so jim zelenosivi srednje in debeložrnati peščenjaki (8. horizont) in na koncu zopet zeleni in rdeči peščenjaki in meljevci, ki pa so bili že del 9. horizonta (sl. 3). Peščenjaki 8. horizonta v tem bloku niso vsebovali ekonomsko zanimivih vsebnosti urana.



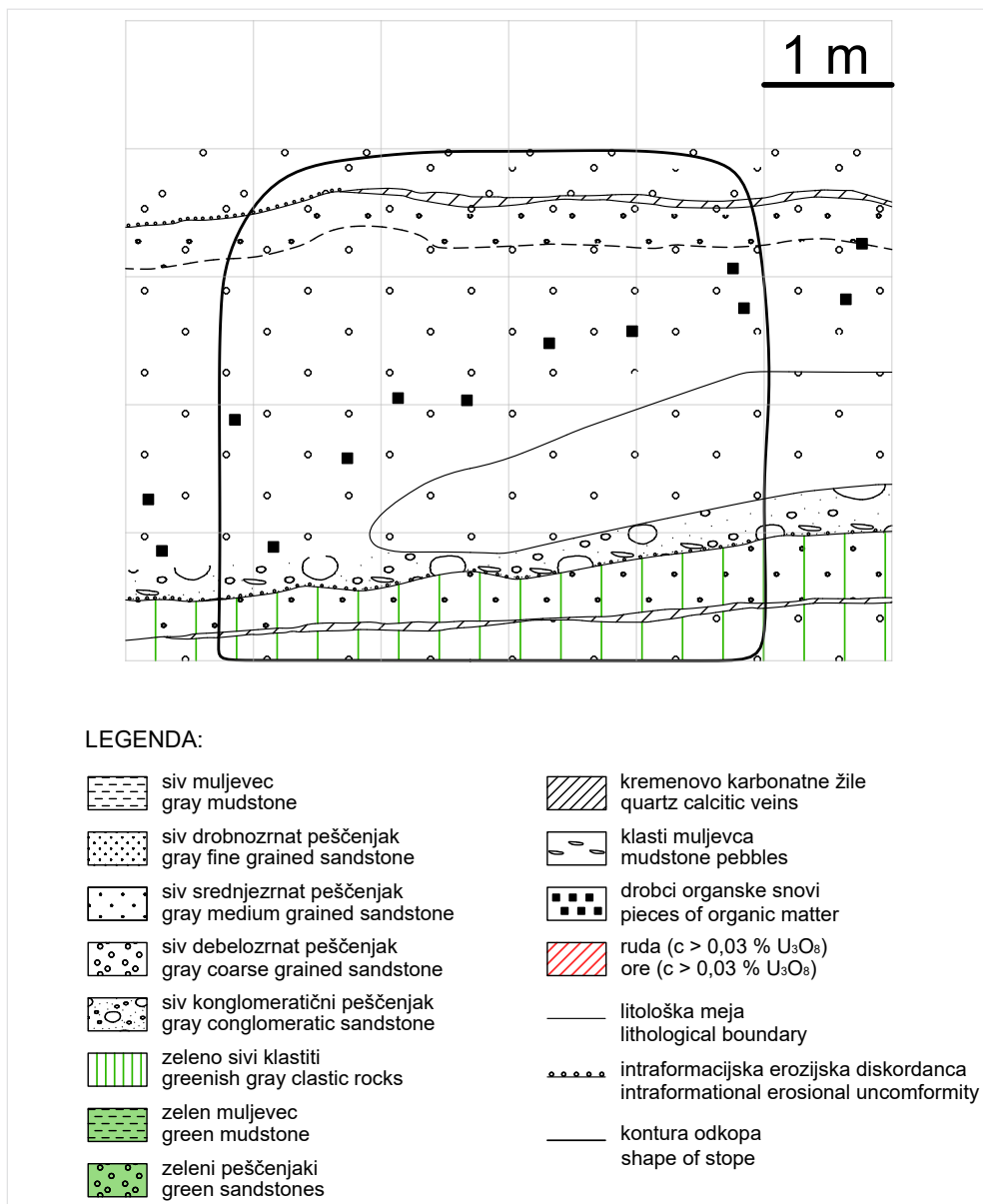
Sl. 2. Geološki prečni prerez P-35.

Fig. 2. Geological cross-section P-35.



Sl. 3. Geološki prečni prerez P-33.

Fig. 3. Geological cross-section P-33.

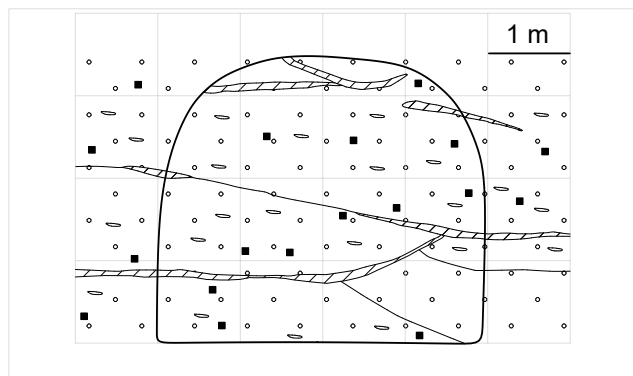


Sl. 4. Horizontalna tekstura v peščenih sekvencah (O-1/5-2, 14. odstrel).

Fig. 4. Horizontally bedding sequences (O-1/5-2, 14th blasting).

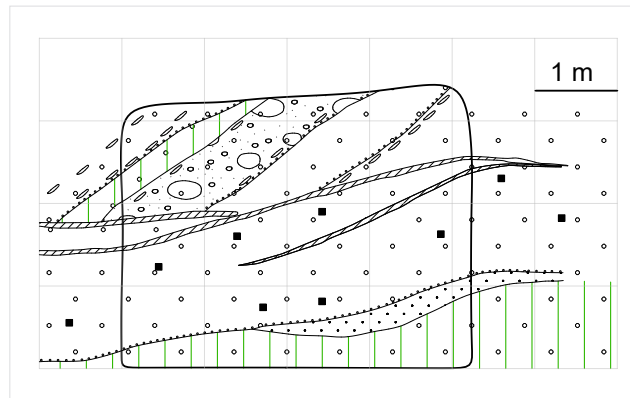
Pri kartiranju čel smo ugotavljali sedimentne teksture, ki so značilne za rečne sisteme prepletajoče reke (braided river) in jih je podrobno razčlenil Miall (1978, 2014), pozneje pa jih je v svoji disertaciji prav za klastite z Žirovskega vrha opisal in

poimenoval Skaberne (1995). Pri kartiranju čel smo največkrat opazovali horizontalno teksturo (sl. 4), kjer so plasti v sekvencah oziroma same sekvence med seboj približno vzporedne. Večkrat je bila prisotna še masivna tekstura (sl. 5), kjer



Sl. 5. Temnosiv oruden peščenjak z masivno teksturo (OP-1, 30. odstrel).

Fig. 5. Dark grey mineralised sandstone with massive structure (OP-1/ 30th blasting).

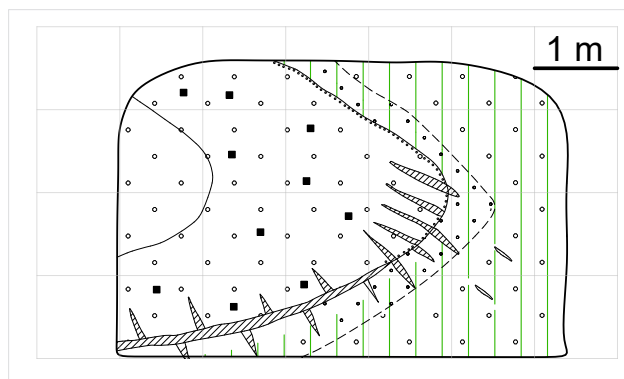


Sl. 6. Koritasta navzkrižna tekstura (O-1/11-2, 111. odstrel).

Fig. 6. Trough cross-bedding (O-1/11-2, 111st blasting).

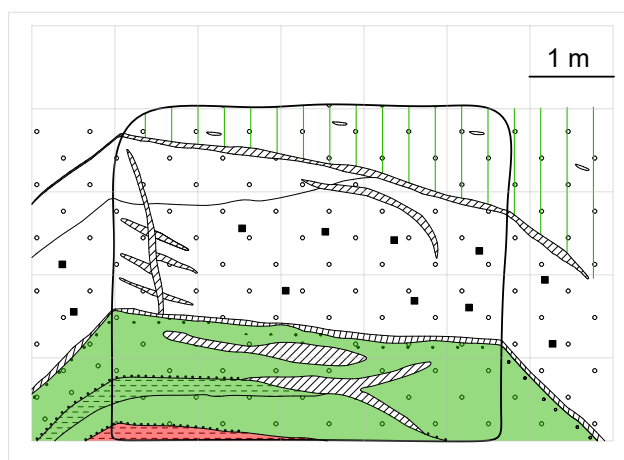
plastovitost ni bila opazna in je nastopala le ena frakcija klastitov. Najredkeje smo srečali planarno in koritasto navzkrižno teksturo (sl. 6). Razne oblike laminacij, ki so značilne za bolj drobnozrnate sedimente (Skaberne, 1995), na odkopih nismo zasledili. Orudjenje se je pojavljalo znotraj 6. horizonta, ki ga je v posameznem odkopnem čelu višine 3,5 do 4,5 m sestavljalo več sekvenc, največkrat 2–4 sekvence, kjer so te bile vidne. Debelina posameznih sekvenc je znašala od nekaj dm do več kot 2 m. Prevladujoči litološki različek v njih je bil sivi debelozrnati peščenjak. V njem so bili na začetku sekvence često prisotni klasti muljevca in karbonatnih konkrecij, redkeje drobni prodniki kremenatako, da je sekvenca lahko pričenovala z intraformacijskim konglomeratom oziroma konglomeratičnim peščenjakom. Na debelozrnatem peščenjaku je bil pogosto odložen še srednjezrnat, redkeje pa tudi drobnozrnat peščenjak in muljevec. Meje med temi litološkimi različki v isti sekvenci so bile postopne, med sekvencami pa navadno ostre, na njihovem stiku so bile pogosto razvite še medplastovne kremenovo karbonatne žile. Najlepše so bile te žile razvite v temenih gub, kjer so medplastovne spremljale še prečne karbonatno kremenove žile (sl. 7). Oba sistema žil sta nastala postdiagenetsko, v fazi gubanja in narivanja (Dolenec, 1983).

Na prehodu iz zelenega in rdečega konglomerata (5. horizont) se je 6. horizont pričenoval z zelenosivim debelozrnatim peščenjakom, ki pa je ponekod že takoj nad kontaktom postal temnejše siv in oruden (sl. 8). Orudjenje je bilo najpogostejše vezano na debelozrnate peščenjake, kjer se je pojavila organska snov ali povečal njen delež (sl. 9). Odkopna priprava OP-1 se je od prereza P-35a, kjer se je pojavil peščenjak z orudjenjem proti prerezu P-32 dvigala in v splošnem sledila plastovitosti. Posamezne sekvence smo tako lahko sledili po dolžini na razdalji več 10 do preko 100 m, ko so se izklinjale ali zavile iz odkopnega profila. Predvsem v prevladujočem debelozrnatem peščenjaku je bilo pomembno pojavljanje organske snovi. Ta je nastopala v obliki drobnih delcev dimenzij do nekaj mm redkeje do več decimetrskih leč, ki so predstavljale ostanke drevesnih debel in ki so bili v diagenezi mineralizirani ali karbonizirani. Med mineraliziranimi različki so bili najbolj razširjeni okremeneli rastlinski ostanke, pojavljale pa so se tudi psevdomorfoze rudnih mineralov (Omaljev, 1967; Drovenik et al., 1980; Dolenec, 1983; Skaberne, 1995). Analiza organske snovi je pokazala, da je ta prisotna kot antracit in semiantracit s prehodom v grafit (Hadži-Popović, 1962). Povprečna vsebnost organske snovi v vzorcih iz sive grōden-ske formacije je znašala 0,14 %, v orudenih peščen-



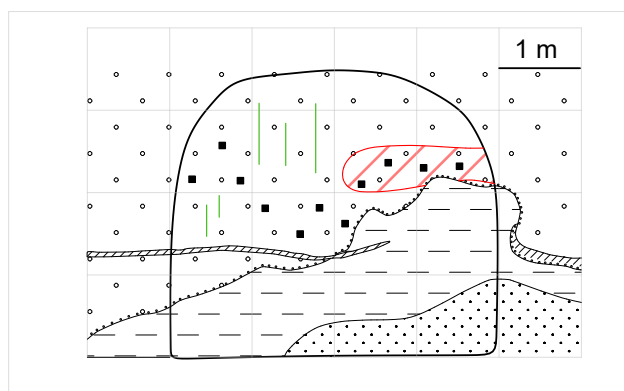
Sl. 7. Medplastovna in prečne kalcitno kremenove žile v peščenjaku (O-1/11-2).

Fig. 7. Interbedded and cross-bedded calcite-quartz veins in sandstone (O-1/11-2).



Sl. 8. Orudeni peščenjak nad pisanimi klastiti (O-1/10-1, 2. odstrel).

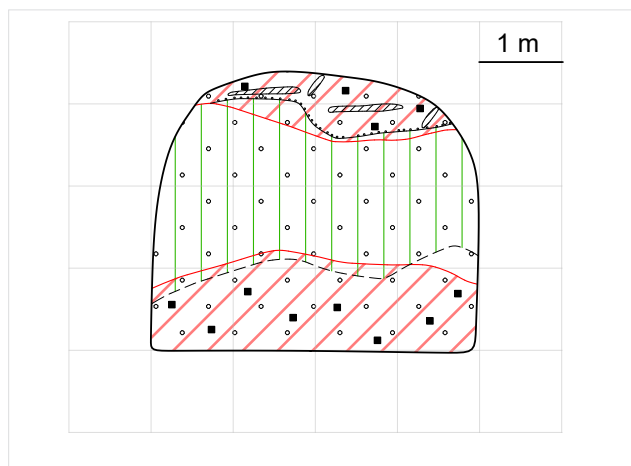
Fig. 8. Mineralised sandstone above variegated conglomerate (O-1/10-1, 2nd blasting).



Sl. 9. Začetek orudenja ob povečani prisotnosti organske snovi (OP-1 zg., 18. odstrel).

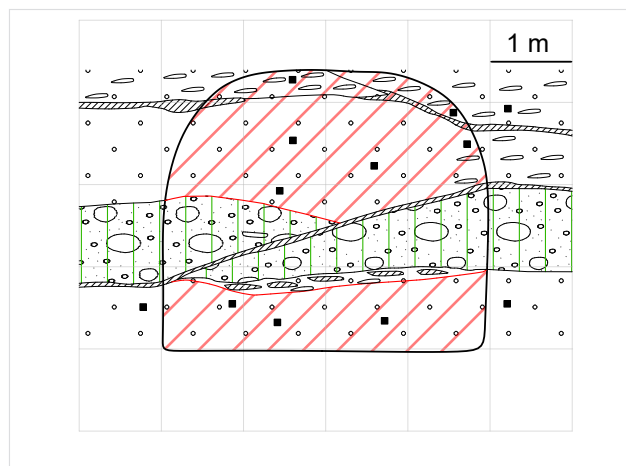
Fig. 9. Beginning of higher ore concentrations coincides with higher content of organic matter (OP-1, 18th blasting).

jakih pa se je njena vsebnost povečevala (Drovenik et al., 1980). Omaljev je za vzorce, ki so jih odvzeli v prvem obdobju raziskav navajal povprečno vsebnost organske snovi 0,26 %, pri tem je še ločeval topno in netopno obliko. Orudjenje z uranom je bilo bolj pogosto v peščenjakihi s povečanim deležem organske snovi, še posebej tistih s topno obliko (Omaljev, 1982).



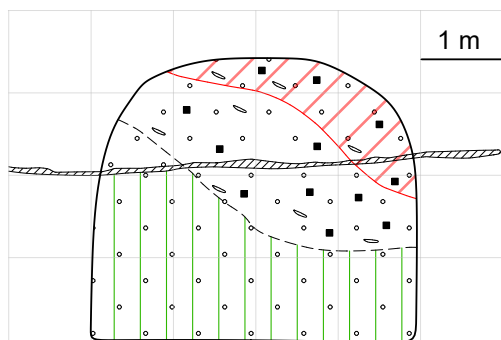
Sl. 10. Meja orudenja vezana točno na mejo temnosivega peščenjaka (OP-1 sp., 74. odstrel).

Fig. 10. Ore boundary corresponds to the boundary of dark grey sandstone (OP-1, 74th blasting).



Sl. 12. Orudeni peščenjaki so večkrat nastopali v rjavkastih različnih (OP-1 sp., 67. odstrel).

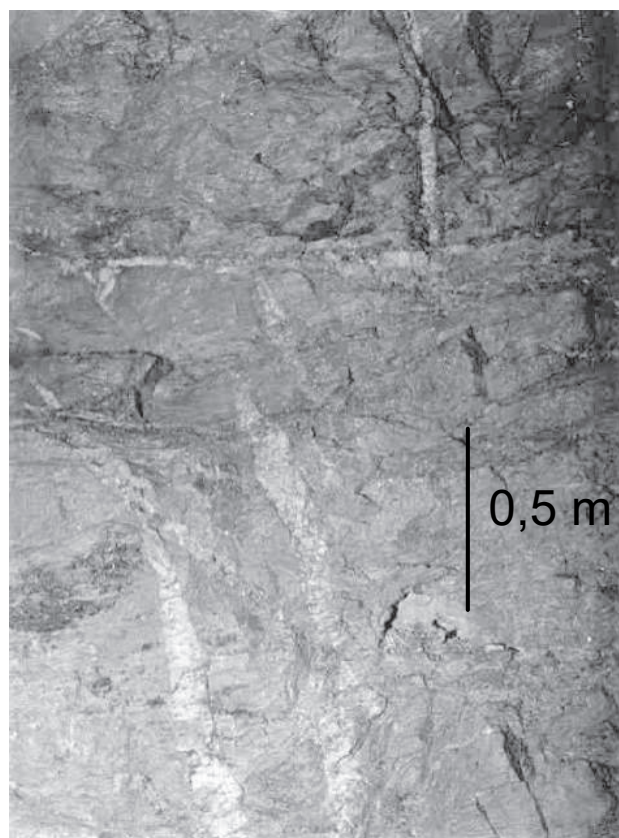
Fig. 12. Brownish variations of sandstones are also usually mineralised (OP-1, 67th blasting).



Sl. 11. Meja orudenja poteka znotraj sivega peščenjaka (OP-1 zg., 62. odstrel).

Fig. 11. Ore boundary runs within the grey sandstone (OP-1, 62nd blasting).

Pri spremljavi odkopavanja smo opazili, da je različen delež organske snovi pomembno vplival na barvni odtenek peščenjakov. Peščenjaki, ki so bili brez ali skoraj brez organske snovi so imeli zelenkast odtenek, kjer se je delež organske snovi povečeval pa se je barva spreminjala od svetlosive do sive in temnosive do skoraj že črne. Pri tem pa se je s temnejšo barvo povečevala tudi verjetnost bogatejšega orudenja. Meje orudenja so bile včasih vezane točno na meje temnosivega peščenjaka (sl. 10). Še večkrat pa se je orudenje končalo pred to mejo (sl. 11) ali pa se celo podaljšalo v svetleje sive ali zelenosive peščenjake. To si lahko razlagamo prav s pojavljanjem topne oblike organske snovi, ki se je premikala s podtalnico in ustvarjala geokemične pogoje za izločanje uranovih mineralov tudi izven območja pojavljanja vidne netopne organske snovi. V orudenih peščenjaki je bila pogosto prisotna tudi rjavkasta obarvanost (sl. 12), ki pa je predvsem posledica prisotnosti še drugih sulfidov (Fe) oziroma njihove oksidacije. Med organsko snovjo in uranskim orudenjem sicer ni bilo ugotovljene direktne korelacije (Omaljev, 1967; Dolenec,



Sl. 13. Drobcji organske snovi (črno) v orudenem peščenjaku (O-1/4-5, 33. odstrel).

Fig. 13. Organic detritus (black) in mineralised sandstone (O-1/4-5, 33rd blasting).

1983). Prisotnost organske snovi pa je bila predpogoj, da je v določenih delih sedimenta nastalo redukcijsko okolje, ki je povzročilo obarvanje uranilnih ionov iz podtalnice v medzrnske prostore.

Primerjava geološke sestave in pojavljanja orudenja je pokazala, da se je v bloku 1 pojavljala naslednja odvisnost:

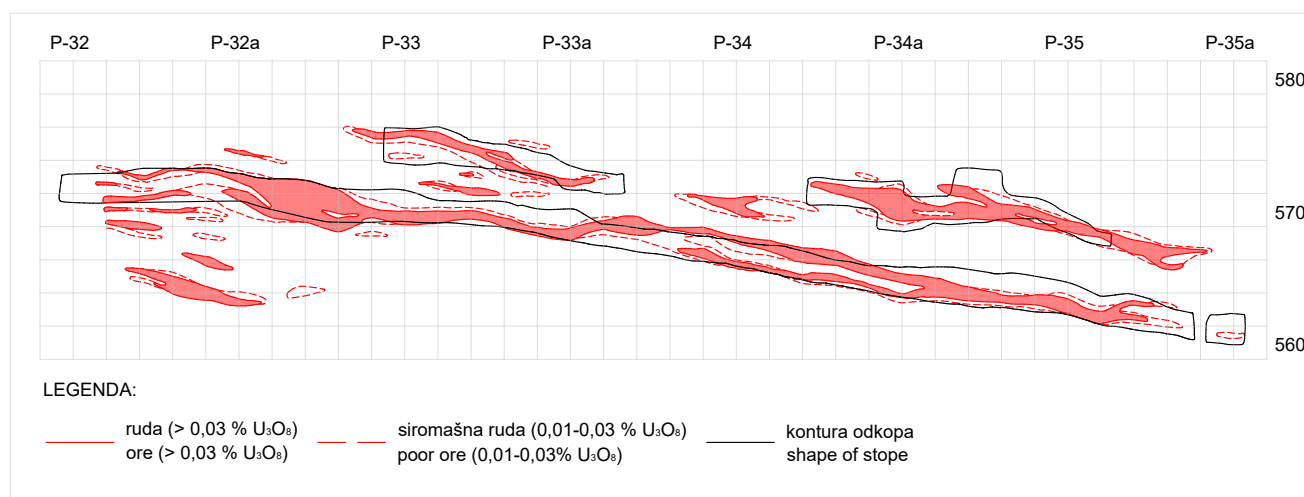
barva/zrnastost	temnosiva	siva	svetlosiva	zelenosiva
konglomeratični peščenjak	ruda	mineralizacija	jalovina	jalovina
debelozrnati peščenjak	bogata ruda	ruda	mineralizacija	jalovina
srednjezrnati peščenjak	ruda	mineralizacija	jalovina	jalovina
drobnozr. pešč. in muljevec	mineralizacija	jalovina	jalovina	jalovina

Meje med posameznimi kategorijami orudenja so bile naslednje:

- jalovina: pod 100 g/t U_3O_8
- mineralizacija: 100–300 g/t U_3O_8
- ruda: 300–1000 g/t U_3O_8
- bogata ruda: nad 1000 g/t U_3O_8

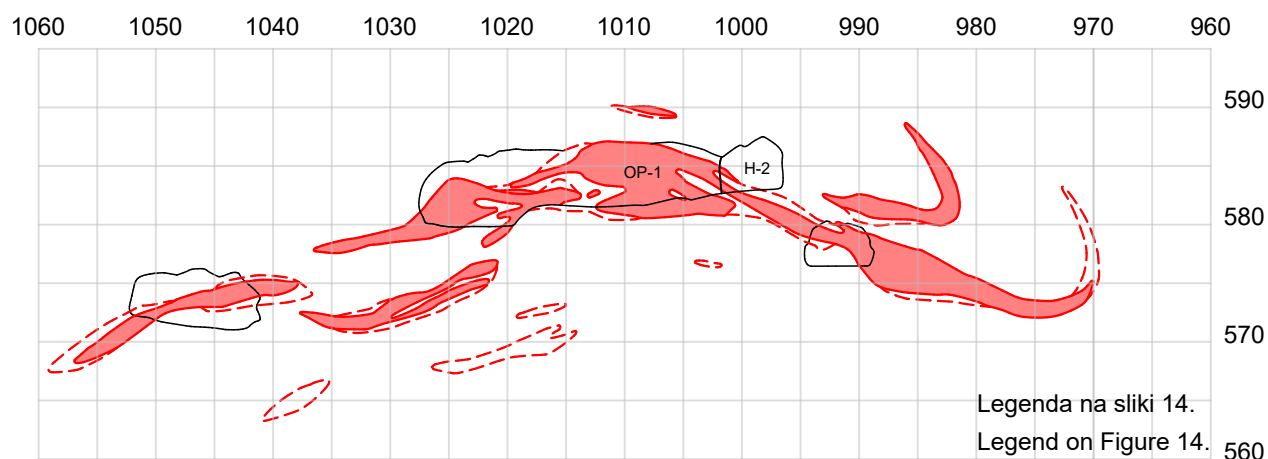
Vzdolžni profil odkopne priprave OP-1 nam je pokazal skorajda sklenjen potek orudenja na celotni dolžini, ki se je pojavljalo na več mestih v dveh in celo treh nivojih oziroma v dveh oz. treh sekvencah, ki pa navadno niso bile orudene v celotni debelini. Le na enem odseku (P-32a+5 do P-32a+20) so bile sekvence orudene v celotni debelini in tu se

je pojavljala največja debelina orudenja, ki je celo presegla 7 m (sl. 5 in sl. 14). Na tem delu se je pojavljala le debelozrnat peščenjak v katerem so bili pogostni drobci organske snovi. Verjetno je bilo tudi na teh mestih razvitih več sekvenc, ki pa jih zaradi zastopanosti le debelozrnatega peščenjaka ni bilo mogoče ločevati. Razvite medplastovno kremenovo kalcitne žile, ki smo jih kartirali in so zelo pogostne na stikih posameznih sekvenc, bi to lahko potrjevale. Omenili smo že, da je v tem delu prevladovala masivna tekstura. Na mestih s povečano debelino se je navadno pojavljala tudi bogatejša ruda. Bolj pogostni pa so bili primeri, da so bili orudeni le deli sekvenc, med njimi pa so se



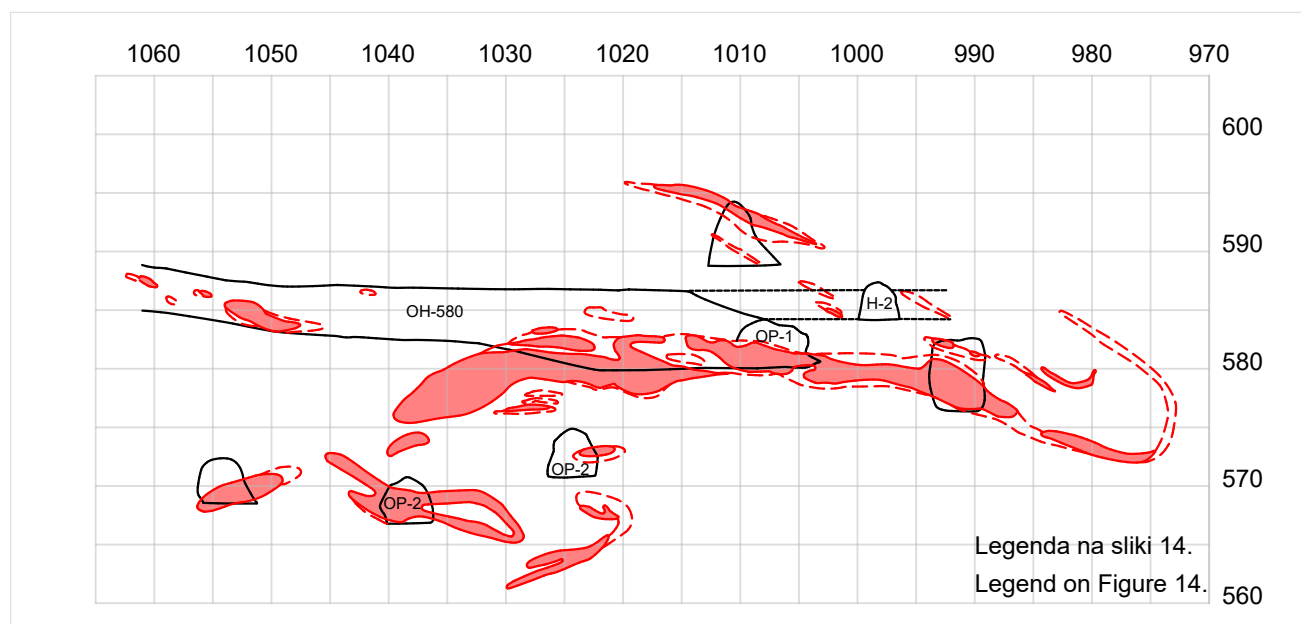
Sl. 14. Orudenje v vzdolžnem prerezu (OP-1).

Fig. 14. Ore bodies in longitudinal section (OP-1).



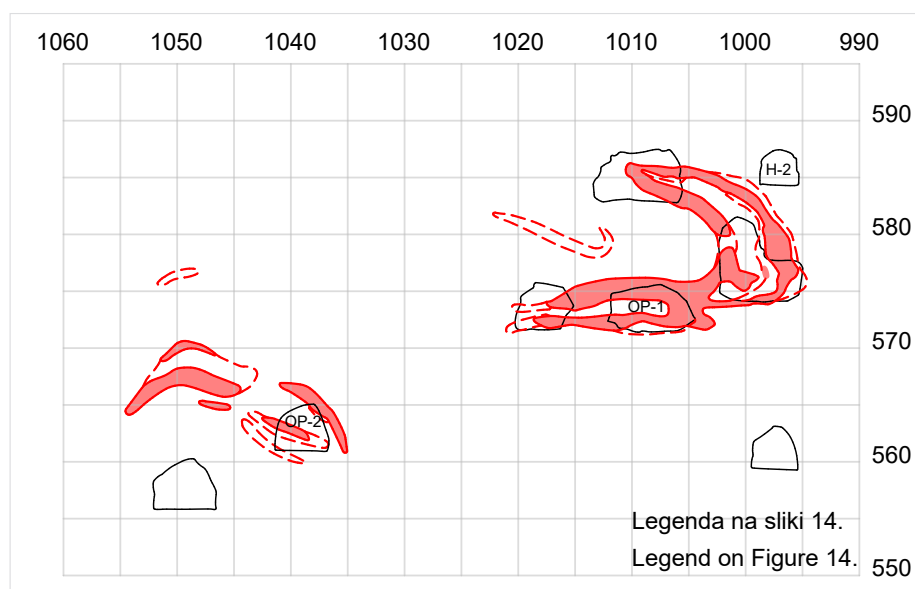
Sl. 15. Orudenje v prečnem prerezu P-32a+5.

Fig. 15. Ore bodies in cross section P-32a+5.



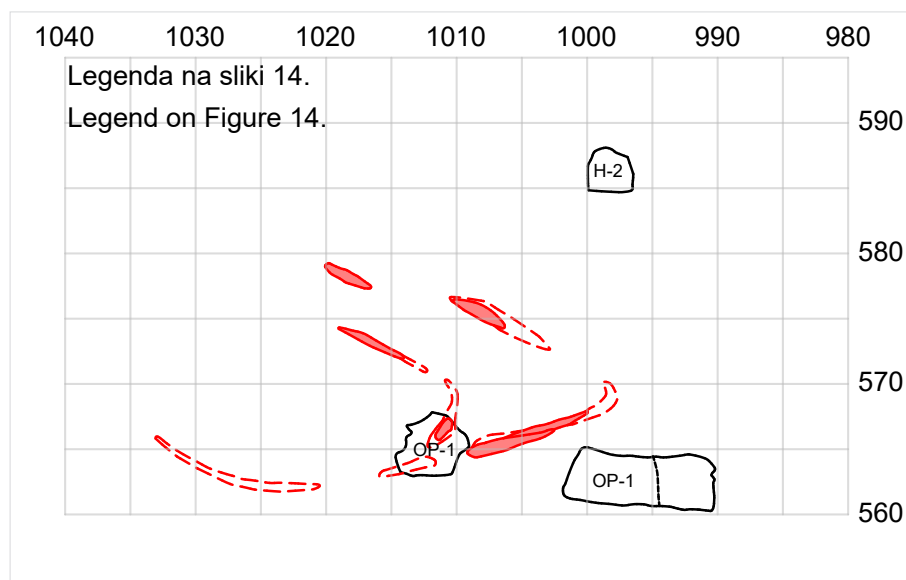
Sl. 16. Orudenje v prečnem prerezu P-33+5.

Fig. 16. Ore bodies in cross section P-33+5.



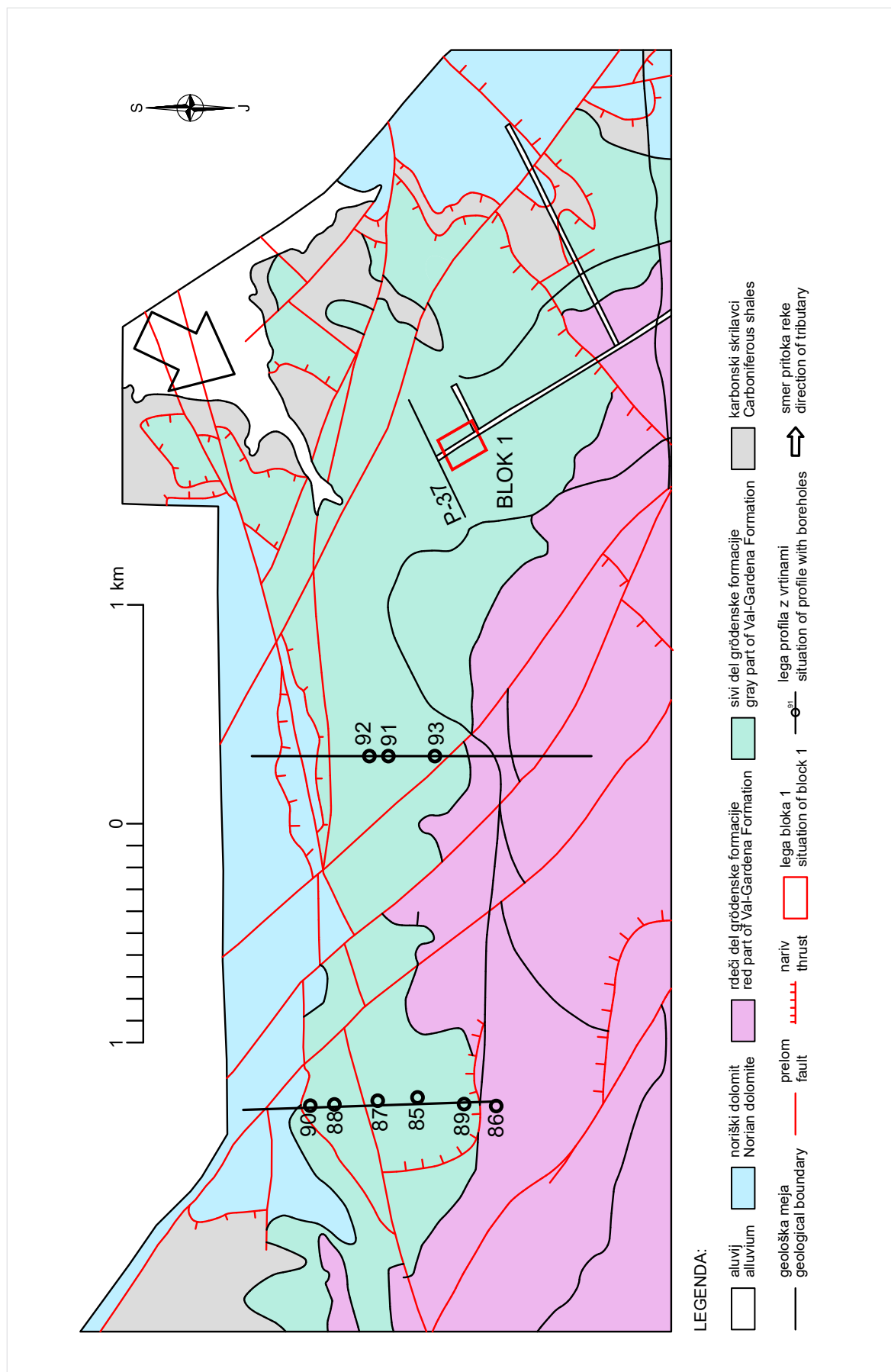
Sl. 17. Orudenje v prečnem prerezu P-34+15.

Fig. 17. Ore bodies in cross section P-34+15.



Sl. 18. Orudenje v prečnem prerezu P-35+20.

Fig. 18. Ore bodies in cross section P-35+20.



Sl. 19. Geološka karta severozahodnega podaljška (po I. Mlakarju).

Fig. 19. Geological map of the NW extension of the mine area (after I. Mlakar).

pojavi se jalovi deli ali je nastopala orudena le ena sekvenca. Sklenjena dolžina orudenja v bloku 1 je znašala največ 150 m merjeno vzdolž OP-1 (sl. 14). Med profiloma P-35 in P-35a se je orudenje pričelo postopno izklinjati in sicer se je zmanjševala njegova koncentracija kot tudi debelina. V zadnjem delu je orudenje postalo lečasto in tudi te leče so vsebovale vse manjše vsebnosti urana. Tudi na drugem koncu se je orudenje v smeri OP-1 izklinjalo (P-32+5) vendar pa se je v nekaterih odkopih (O-1/4-5) nadaljevalo vse do meje bloka (P-32) oziroma se je potem nadaljevalo neprekinjeno naprej v blok 2.

Širino rudnih teles smo opazovali v prečnih prerezi, kjer je ta znašala od nekaj metrov do preko 40 m. Med prerezi P-32a+5 (sl. 15) in P-33 se je pojavljal največji obseg orudenja tako po debelini kot tudi po padu. Za prerezom P-33 se orudenje stanjša in tudi dolžina orudenja v prečni smeri se začne skrajševati (sl. 16 in sl. 17). S približevanjem prerezu P-35a pa se orudenje še dodatno stanjša in zmanjšuje se tudi njegova koncentracija (sl. 18). Pri spremljavi odkopavanja smo opazili, da se je tam, kjer se je orudenje skrajševalo, prekinjalo ali izginjalo orudeni peščenjak postajal svetlejši in zelenosiv, v njem je bilo v splošnem vse manj organske snovi. Za prerezom P-35a se do prereza P-37, do kamor so se izvajala raziskovalna dela v jami, nikjer več ni pojavljalo orudenje v ekonomsko zanimivih količinah.

Severozahodni podaljšek rudišča

Peščenjaki, ki pripadajo 6. horizontu in so bili glavni nosilci orudenja v blokkih, kjer se je odkopavalo uranovo rudo do leta 1990, se proti severozahodu še nadaljujejo, vendar so po barvi večinoma zelenosivi in le s sledovi orudenja. Prehod iz temnosivih in sivih peščenjakov z orudenjem v zelenosive smo opazovali v bloku 1 na njegovem SZ delu med prerezoma P-35 in P-36. Sprememba barve je bila povezana tudi z zmanjšanjem deleža organske snovi, ki je imela odločilno vlogo pri nastanku redukcijskega okolja in obarjanju urana. V jami je bil zadnji raziskan prerez P-37, kjer so bili torej peščenjaki 6. horizonta prevladujoče zelenosive barve. Pod njim pa so bili še prisotni pisani konglomerati, ki pa se navzdol (v prečni smeri) hitro izklinjajo in jih nadomeščajo sivi različki.

Severozahodno oziroma že zahodno od bloka 1 sta bila z vrtinami s površine raziskana še dva prereza oddaljena 1,3 in 2,8 km od zadnjega prereza v jami (sl. 19). Tudi tu so bile ugotovljene le redke in siromašne mineralizacije z uranom (Budkovič, 1986). Poleg tega se tu siva grōdenska formacija močno stanjša saj se pričinja šele s 4. ali 5. ho-

rizontom, ki je zastopan le s sivim konglomeratom, pisanega konglomerata ni več. Peščenjaki 6. horizonta ostajajo prevladujoče zelenosive barve, vmes pa se pojavljajo tudi še sivi in celo temnosivi različki. Iz popisa vrtin izhaja, da se med temi debelozrnatimi peščenjaki pogosteje pojavljajo bolj drobnozrnati različki (drobnozrnati peščenjaki, meljevci, muljevci). Prisotnost organske snovi je bila zabeležena le redko. To bi kazalo na okolje prepletajoče reke z veliko poplavnih ravnih, kjer se je usedal drobnejši material.

Iz geološke karte I. Mlakarja (1981) je razvidno, da se na mestu, kjer se zaključuje jamska zgradba, smer grōdenskih plasti obrača iz dinarske smeri v smer vzhod-zahod (sl. 19). O zavoju reke pri Gorenji vasi, ki je prinašala in odlagala peščeni material je pisal že Omaljev (1982). Sprememba v slemenitvi plasti in drugačen razvoj grōdenskih plasti v smeri proti zahodu (Fužine) nam potrjuje predvidevanje Omaljeva, da je bil pri Gorenji vasi močan pritok v glavno reko. Ta pritok je moral prinašati material za pisane konglomerate, medtem ko je glavni tok reke iz zahoda prinašal material za sive konglomerate. V jamski zgradbi, ki se pričinja z blokom 1 in nadaljuje v dinarski smeri proti JJV je prav značilno, da se v 5. horizontu menjavata sivi in pisani konglomerat. Debelina in obseg slednjega se proti JV in JZ sicer manjšata, proti robovom bazena celo izklinjata. Raziskave prodniških združb so kazale na različno izvorno območje enega in drugega predvsem zaradi različne sestave prodnikov, njihove zaobljenosti in sortiranosti (Skaberne, 1995). Prodniki, ki gradijo pisane konglomerate so manj zaobljeni in slabše sortirani in jim je zato Skaberne (1995) pripisal aluvialno vršajno sedimentacijo s smerjo transporta od SV proti JZ glede na prevladujočo smer transporta SZ-JV. Glede na podoben potek teles pisanega konglomerata na obzornih kartah in vzdolžnih prerezi kot jih imajo ostali sedimenti, to je v smeri SZ-JV menimo, da je material zanj prinašal pritok reke iz smeri S do SV od Gorenje vasi in so se potem odlagali v prepletajočih koritih in ravninah glavne reke, ki je tekla proti JV.

Zahvala

Za kritičen pregled vsebine in podane pripombe se najlepše zahvaljujem dr. Dragomirju Skaberne. Grafične priloge mi je izdelala Nika Köveš, prevod povzetka in podnapisov k slikam pa Erazem Dolžan, za kar se jima prav tako lepo zahvaljujem.

Literatura

- Budkovič, T. 1978: Litološka kontrola uranovega orudenja na obzorju 530 m v rudišču Žirovski vrh. Rudarsko-metalurški zbornik, 1: 25–34.
- Budkovič, T. 1980: Sedimentološka kontrola uranove rude na Žirovskem vrhu. Geologija, 23/2: 221–226.
- Budkovič, T. 1986: Raziskave severozahodnega podaljška rudišča Žirovski vrh med Karlovcem in Fužinami. Referati 2. jugoslovanskega posvetovanja o jedrskih surovinah, Škofja Loka.
- Dolenec, T. 1983: Nastanek uranovega rudišča Žirovski vrh. Doktorska disertacija. Univerza v Ljubljani, Ljubljana: 2 zv. 287 str. + 48 tabel.
- Drovenik, M., Pleničar, M. & Drovenik, F. 1980: Nastanek rudišč v SR Sloveniji. Geologija, 23/1: 1–159.
- Florjančič, A.P. s sod. 1973: Poročilo o geološko-rudarskih raziskavah ležišča urana Žirovski vrh v letu 1972. Zgodovinski arhiv Ljubljana, enota v Škofji Loki.
- Hadži-Popović, S. 1962: Organska materija v grodnu Žirovskega vrha. Tipkano poročilo, Zgodovinski arhiv Ljubljana, enota v Škofji Loki.
- Lavrenčič, J., Florjančič, A.P., Čadež, F. & Šubelj, A. 1984: Uvajanje projektnih rešitev in poskusnega dela za najprimernejši sistem geološke kontrole pri poskusnem odkopavanju. Arhiv Ljubljana, enota v Škofji Loki.
- Lukacs, E. & Florjančič, A.P. 1974: Uranium ore deposits in the Permian sediments of North-west Yugoslavia. Formation of Uranium Ore Deposits, Proceedings of a Symposium, Athens, 6–10 May 1974, IAEA, Vienna.
- Miall, A.D. 1978: Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary. In: Miall, A. D. (ed.): Fluvial sedimentology. Can. Petrol. Geol. Mem., 5: 597–604.
- Miall, A. D. 2014: Fluvial Depositional Systems. Springer Geology. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-00666-6>
- Mlakar, I. 1981: Geološki faktorji kontrole Hg, Cu in U mineralizacije (Žirovski vrh), IV. faza. Arhiv Geološki zavod Slovenije, Ljubljana: 82 str., 9 pril.
- Mlakar, I. & Placer, L. 2000: Geološka zgradba Žirovskega vrha in okolice. In: Florjančič, A. P. (ed.): Rudnik urana Žirovski vrh, Didakta, Radovljica.
- Omaljev, V. 1967a: Razvoj gredenskih slojeva i uranove mineralizacije u ležištu urana Žirovski vrh. Radovi IGRI 3, Beograd.
- Omaljev, V. 1967b: Korelacija slojeva u ležištu Žirovski vrh. Radovi IGRI 3, Beograd.
- Omaljev, V. 1969: Eksploatacijsko raziskovanje v uranovem rudišču Žirovski vrh. Geologija, 12: 107–152.
- Omaljev, V. 1982: Metalogenetske karakteristike uranskog rudišta Žirovski vrh. Geoinstitut, Posebna izdanja, knjiga 7, Beograd.
- Skaberne, D. 1995: Sedimentacijski in postsedimentacijski razvoj grödenske formacije med Cerknim in Žirovskim vrhom. Doktorska disertacija. Univerza v Ljubljani, Ljubljana: 1. del 500 str., 2. del 192 str. + 46 prilog.
- Spasojević, L. 1981: Rudarski projekat za izvođenje radova pri probnom odkopavanju u Rudniku urana Žirovski vrh. Rudarski institut Beograd.