

KVANTITATIVNA OPTIČKA ISTRAŽIVANJA REALGARA IZ ARSENSKE RUDNE POJAVE BANJAK JUŽNO OD KISELJAKA U BOSNI

Ivan JURKOVIĆ

Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, YU—41000 Zagreb

Ključne riječi: Kvantitativna optika, Reflektirano svjetlo, Uvjeti simetrije, Parametri anizotropije

Izmjerena je moć refleksije realgara za E, D, C linije vidljivog dijela spektra, u zraku i u cedrovom ulju, pomoću Berekovog »Spaltnmikroskopphotometer«. Sa specijalnim Berekovim okularom s eliptičnim analizatorom i okretnim tinjčevim listićem te specijalnim objektivom bez efekta polarizacije ispitani su, za dati presjek zrna realgara u nabrusu, uvjeti simetrije (»Symmetrieforderung«) i izmjereni su parametri anizotropije: karakteristični kut τ , reducirani dvolumen ($\eta_2 - \eta_1$), reducirana biapsorpcija ($\varkappa_2 - \varkappa_1$), odnos obiju uniradijalnih moći refleksije ($\frac{R_2}{R_1}$) refleksioni pleohroizam ($R_2 - R_1$) te vrijednosti za obje uniradijalne moći refleksije (R_1 i R_2).

Key-words: Quantitative optics, Reflection light, »Symmetrieforderung«, Parameters of anisotropy

In this paper the author presented the data for the reflectivity of the realgar from the arsenic deposit Banjak near Kiseljak in Bosnia obtained by Berek's »Spaltnmikroskopphotometer«. The measurements were carried out for each spectral area (E, D, C) both in air and in cedar oil. Using the special Berek's ocular with the elliptical analyser and rotating mica plate as the special objective without effects of polarization the author measured and reported following quantitative optical parameters of the realgar: (a) »Symmetrieforderung nach Berek«; (b) characteristic angle τ ; (c) polarization coefficient ($\eta_2 - \eta_1$) or »reduzierte Doppelbrechung«; (d) phase coefficient ($\varkappa_2 - \varkappa_1$) or »Doppelabsorption«; (e) values for R_1 and R_2 and R_2/R_1 ; (f) reflection pleochroism ($R_2 - R_1$).

Uvod

Rudno ležište Banjak je jedno od tri srodna realgar-auripigment ležišta smještenih na jugozapadnim padinama planine Berberuše izgrađene od kvarcporfira (riolita). Detaljan opis parageniza tih ležišta nalazi se u radu Jurkovića (1959).

Rudište Banjak nalazi se s obje strane potoka Banjak, desne pritoke potoka Hrnze, oko 0,6 km nizvodno od rudišta Hrnza i 1 km istočnije od arsenske pojave Gaće (Crkvenjak).

Mineralizacija je lokalizirana na kontakt uskriljenog, sericitiziranog kvarcporfira (riolita) s crnim kvarcovitim škriljcem. Pružanje rudne zone, duge oko 200 m, je E—W, odnosno ENE—WSW s promjenljivim padom od 40—60° ka jugu. Splet žilica, gnjezdašca i impregnacija arsenske rude vidi se duž kontakta, ali zalazi i u obje stijene. Prosječni sadržaj rude je oko 6% As, a spektrografska analiza čistog realgara pokazala je tragove Tl i Ni te jedva uočljive tragove Pb i Co.

Arsenski sulfidi su dominantni minerali u ležištu pri čemu realgara ima zamjetljivo više od auripigmenta. Sulfidi su asocirani s kvarcem prve i druge generacije, ali se javljaju i bez njih u kvarcporfiru i škriljcu. Golim okom se rijetko opažaju pirit i barit te antimonit. Mikroskopiranjem su još utvrđeni turmalin, rutil, cirkon, sericit, sfalerit, melnikovit-pirit, bravoit, halkopirit, tetraedrit, enargit, tenantit, »sulfosol«, fluorit, kalcit. Od hipergenih minerala nađeni su kovelin, halkozin, getit i lepidokrokit.

Optička istraživanja

U ranijim radovima izvršena su kvantitativna optička istraživanja u reflektiranom polariziranom svjetlu na nabrusima burnonita u baritnom ležištu Rimska Jama kod Kreševa (Jurković, 1956) i antimonita u rudištu Čemerica kod Fojnice (Jurković, 1962). U ovom radu opisani su rezultati optičkih mjerenja na nabrusu realgara iz ležišta Banjak kod Kiseljaka. Sva tri ležišta nalaze se u Srednjobosanskom Rudogorju.

A. Određivanje moći refleksije

Moć refleksije određena je na »Spaltnmikroskopphotometer« kojeg je konstruirao i opisao Berek (1936, 1937). Fotometar je baždaren pomoću etalona od čistog poliranog galenita (rudnik Dobrevo) i to za E, D i C linije vidljivog dijela spektra (WR). Fotometričanjem nabrusa realgara dobivene su vrijednosti W_r (kao srednje vrijednosti uniradijalnih refleksija realgara).

Moć refleksije (r) realgara izračunata je po formuli: $r = \frac{R \cdot \sin^2 W_r}{\sin^2 WR}$ pri čemu je vrijednost

R moć refleksije galenita kako ju je dao Cisar (1928). Moć refleksije realgara iz ležišta

Tabela (Table) 1
Moć refleksije realgara (Reflectivity of realgar)

Mineral	WR			R (%)			Wr			r (%)			
	E	D	C	E	D	C	E	D	C	E	D	C	
Realgar													
u zraku (<i>in air</i>)	31,7	31,8	32,0	43,3	41,6	40,1	21,8	21,4	21,2	21,7 22,0	19,8 19,8	18,6 18,7	+
u ulju (<i>in oil</i>)	26,0	26,2	25,7	28,8	27,1	25,9	14,0	13,4	13,0	8,7 8,7	7,6 7,5	6,9 6,9	++

+ grafički (*graphical*), ++ numerički (*numerical*)

Banjak dobili smo računskim putem ali i grafički po metodi Schneiderhöhna (1952).

U Tabeli 1 prikazane su vrijednosti moći refleksije nabrusa realgara sa zelenim filterom (E linija od 520 μm), žutim filterom (D linija od 575 μm) i crvenim filterom (C linija od 700 μm).

Ramdohr (1983) daje u svojoj knjizi kalkulativne vrijednosti za sve tri uniradijalne moći refleksije (Rg, Rm i Rp) za D liniju (589

μm) i C liniju (670 μm), a Vjalsov (1973) za šest linija spektra, a među njima za E liniju (500 μm), D liniju (580 μm) i C liniju 660 μm). Volinskij (1947) daje za Rg 21%, a za Rp 19% u žutom svijetlu (D linija).

P su podaci za P. Ramdohra, V su podaci za V. L. Vjalsova, J su podaci I. Jurkovića. Podaci su međusobno u saglasju.

	E			D			C		
	P	V	J	P	V	J	P	V	J
Rg		25,5		21,1	22,5		20,1	21,5	
Rm		22,0	22,0	20,8	19,4	19,8	19,7	18,5	18,7
Rp		19,2		18,0	17,7		18,2	17,1	

Određivanje parametara anizotropije realgara u reflektiranom svijetlu

Istraživanja su vršena na rudnom mikroskopu firme E. Leitz sa specijalnim Berekovim okularom s eliptičnim analizatorom i okretnim tinjčevim listićem te specijalnim objektivom bez efekata polarizacije. Korišten je zeleni filter VG₂ debeo 2 mm s optičkim težištem kod $\lambda_0 = 575$ milimikrona s konstantama $C = 0,375$ i $S = 0,927$.

Justiranje aparata je izvršeno na taj način da se titrajna ravnina polarizatora postavila

paralelno ravnini simetrije otklona prizme u opakiluminatoru.

Na specijalnom okularu su određeni nul-položaji tinjčeve pločice (g_0) i analizatora (a_0) na etalonima precizno brušenih nabrusa pirita. Pri mjerenju su ukopčane pomoćne leće iznad okulara. Kompenzacije za g_0 i a_0 izvedene su za dva položaja etalona međusobno zaokrenuta za 45° i to s po deset mjerenja iz kojih su izračunate srednje vrijednosti.

U Tabeli 2 dati su podaci za g_0 i a_0 etalona pirita kao srednje vrijednosti iz 10 mjerenja.

Tabela (Table) 2
Nul-položaji tinjčeve pločice (g_0) i analizatora (a_0) za etalon pirita
Position of compensation of mica-plate (g_0) and analyser (a_0)

Položaji Positions	0°	$a_0' = 47,5^\circ$	$g_0' = 49,1^\circ$	45°	$a_0'' = 47,4^\circ$	$g_0'' = 49,0^\circ$
Srednja vrijednost (average)		$a_0 = 47,5^\circ$	$g_0 = 49,1^\circ$			

B. Određivanje \bar{o} i \bar{o} te o_1 i o_2 realgara

Azimuti položaja potamnjenja nabrusa realgara \bar{o} i \bar{o} (s točnošću od $\pm 3^\circ$) određuju se okretanjem mikroskopskog stolića uz zadržavanje

mjernih krugova tinjčeve pločice (g_0) i analizatora (a_0) u nul-položajima. Iz tih azimuta izračunati su prvi (o_1) i drugi (o_2) dijagonalni položaji nabrusa realgara po formulama $o_1 = 1/2 (\bar{o} + \bar{o})$ i $o_2 = o_1 + 90^\circ$ (Tabela 3).

Tabela (Table) 3

Azimuti položaja potamnjenja nabrusa realgara
Positions of compensation for realgar

Nabrus realgara Polished specimen of realgar	$\bar{\sigma}$	$\bar{\sigma}$	σ_1	σ_2
	53,5°	141°	97 $\frac{1}{4}$ °	187 $\frac{1}{4}$ °

C. Određivanje
azimuta g_1 i g_2
te g_2 i a_2 realgara

U oba dijagonalna položaja σ_1 i σ_2 izvršeno je potamnjenje slike aperture istovremenim okretanjem tinjčeve pločice i analizatora te tako dobiveni podaci za g_1 i a_1 , odnosno za g_2 i a_2 tinjčeve pločice i analizatora za prvi i drugi dijagonalni položaj u času kompenzacije kao srednje vrijednosti iz pet mjerenja (Tabela 4).

Tabela (Table) 4

Azimuti kompenzacije u oba dijagonalna položaja
 σ_1 i σ_2
Azimuths of compensation in two diagonal positions
 σ_1 and σ_2

σ_1	a_1	47,9°	48,0°	47,8°	47,7°	47,9°	47,9°
	g_1	49,7°	49,5°	50,0°	49,6°	49,6°	49,7°
σ_2	a_2	47,0°	47,1°	47,0°	47,0°	47,1°	47,0°
	g_2	47,2°	47,1°	47,3°	47,2°	47,3°	47,2°

$$\text{tg tau } (\tau) = \frac{-\sin(\varphi - \sigma) \cdot \sin 2\pi \cdot \frac{I}{\lambda_0}}{\sin 2\pi \cdot \cos(\varphi - \sigma) - \cos 2\pi \cdot \sin 2(\varphi - \sigma) \cdot \cos 2\pi \cdot \frac{I}{\lambda_0}}$$

pri čemu postoje ove relacije: $2\varphi = g_1 - g_2$ i $2(\varphi - \sigma) = g_1 - g_2 - a_1 - a_2$ te $\sin 2\pi \cdot \frac{I}{\lambda_0} = 0,927 = S$ i $\cos 2\pi \cdot \frac{I}{\lambda_0} = 0,375 = C$.

Kut tau je u funkcionalnoj vezi s polarizacionim i faznim koeficijentima po slijedećoj formuli:

$$\text{tg tau } (\tau) = \frac{\text{reducirani dvolom}}{\text{reducirana biapsorpcija}} = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\kappa_2 - \kappa_1}$$

Kad su kutevi φ i $(\varphi - \sigma)$ maleni tada se kod preračunavanja uzima da je $\cos 2\varphi = +1$ i $\cos(\varphi - \sigma) = +1$.

$$\eta_2 - \eta_1 = \frac{\sin 2\varphi \cdot \cos 2(\varphi - \sigma) - \cos 2\varphi \cdot \sin(\varphi - \sigma) \cdot \cos 2\pi \cdot \frac{I}{\lambda_0}}{1 + \cos 2\varphi \cdot \cos 2(\varphi - \sigma) + \sin \varphi \cdot \sin 2(\varphi - \sigma) \cdot \cos 2\pi \cdot \frac{I}{\lambda_0}}$$

$$\kappa_2 - \kappa_1 = \frac{-\sin 2(\varphi - \sigma) \cdot \sin 2\pi \cdot \frac{I}{\lambda_0}}{1 + \cos 2\varphi \cdot \cos(\varphi - \sigma) + \sin \varphi \cdot \sin 2(\varphi - \sigma) \cdot \cos 2\pi \cdot \frac{I}{\lambda_0}}$$

D. Ispitivanje uslova ispunjenja
simetrije kod realgara
(Symmetrieforderung)

Ispunjenje uslova simetrije (Symmetrieforderung nach Berek, 1936) postiže se ako se zadovolje jednadžbe:

$$(a_1 + a_2) - 2a_0 = 0 \text{ i } (g_1 + g_2) - 2g_0 = 0$$

U Tabeli 5 prikazani su rezultati nakon uvrštavanja vrijednosti iz Tabele 4.

Tabela (Table) 5

Ispunjenje uslova simetrije kod realgara
»Symmetrieforderung« for realgar

$$(g_1 + g_2) - 2g_0 = +0,7^\circ \quad (a_1 + a_2) - 2a_0 = -0,5^\circ$$

Podaci navedeni u tabeli 5 pokazuju da zahtjev simetrije nije ispunjen što znači da polarizirano svjetlo s površine nabrusa realgara nije linearno što je u skladu s monoklinskom singonijom realgara (Klein, Hurlburt, 1985).

E. Karakterističan
kut tau (τ) realgara

Karakterističan kut tau (τ) izračunava se po formuli:

$$\text{tg tau } (\tau) = \frac{-\sin(\varphi - \sigma) \cdot \sin 2\pi \cdot \frac{I}{\lambda_0}}{\sin 2\pi \cdot \cos(\varphi - \sigma) - \cos 2\pi \cdot \sin 2(\varphi - \sigma) \cdot \cos 2\pi \cdot \frac{I}{\lambda_0}}$$

U Tabeli 6 date su proračunate vrijednosti za 2φ i $2(\varphi - \sigma)$ te za karakterističan kut tau (τ) u mjerenom presjeku zrna realgara u nabrusu.

Tabela (Table) 6

$$2\varphi = +2,5^\circ \quad 2(\varphi - \sigma) = 1,6^\circ \quad \text{tau } (\tau) = -37^\circ 58'$$

F. Reducirani dvolom
i reducirana biapsorpcija

Reducirani dvolom ($\eta_2 - \eta_1$) i reducirana biapsorpcija ($\kappa_2 - \kappa_1$) računaju se po formulama:

$$\eta_2 - \eta_1 = \frac{\sin 2\varphi \cdot \cos 2(\varphi - \sigma) - \cos 2\varphi \cdot \sin(\varphi - \sigma) \cdot \cos 2\pi \cdot \frac{I}{\lambda_0}}{1 + \cos 2\varphi \cdot \cos 2(\varphi - \sigma) + \sin \varphi \cdot \sin 2(\varphi - \sigma) \cdot \cos 2\pi \cdot \frac{I}{\lambda_0}}$$

$$\kappa_2 - \kappa_1 = \frac{-\sin 2(\varphi - \sigma) \cdot \sin 2\pi \cdot \frac{I}{\lambda_0}}{1 + \cos 2\varphi \cdot \cos(\varphi - \sigma) + \sin \varphi \cdot \sin 2(\varphi - \sigma) \cdot \cos 2\pi \cdot \frac{I}{\lambda_0}}$$

U *Tabeli 7* nalaze se izračunate vrijednosti za reducirani dvolom i reduciranu biapsorpciju za realgar iz rudišta Banjak.

Tabela (Table) 7
Realgar — Banjak

reducirani dvolom (polarization coefficient)	$= \eta_2 - \eta_1 = 0,0166$
reducirana biapsorpcija (phase coefficient)	$= \kappa_2 - \kappa_1 = 0,0130$

Vrijednosti za reducirani dvolom realgara ukazuju na osrednje visoke anizotropne efekte. Ti se efekti vrlo teško uočavaju uz potpuno ukrštene nikole te o jakosti anizotropnih efekata u literaturi postoje suprotna mišljenja. Volinskij (1947) smatra da su anizotropni efekti vrlo jaki, a Ramdohr (1983) jaki, ali da se vide samo uz nepotpuno ukrštene nikole. Naša kvantitativna mjerenja reduciranog dvoloma ukazuju na ispravnost podataka Ramdohra.

Vrijednosti za reduciranu biapsorpciju su osrednje visoke što ukazuje da se anizotropni efekti odlikuju promjenom boje.

G. Odnos
obje uniradijalne
moći refleksije realgara

Taj odnos se izražava slijedećom formulom navedenom u *Tabeli 8* u kojoj je data i izračunata vrijednost.

Tabela (Table) 8

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{[1 - (\eta_2 - \eta_1)]^2 + (\kappa_2 - \kappa_1)^2}{[1 + (\eta_2 - \eta_1)]^2 + (\kappa_2 - \kappa_1)^2} = 0,92$$

H. Vrijednost
obje uniradijalne
moći refleksije realgara

Uniradijalne moći refleksije računaju se po formulama:

$$R_1 = \frac{2\bar{R}}{\frac{R_2}{R_1} + 1} \quad R_2 = \frac{2\bar{R}}{\frac{R_2}{R_1} + 1} \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

\bar{R} je moć refleksije realgara dobivena fotometrom (Tabela 1).

U *Tabeli 9* navedene su vrijednosti za uniradijalne moći refleksije realgara za E, D i C linije vidljivog dijela spektra.

Primljeno: 14. XI. 1988.

Prihvaćeno: 6. II. 1989.

Tabela (Table) 9

R_1			R_2		
E	D	C	E	D	C
22,76 %	20,62 %	19,43 %	20,94 %	18,97 %	17,88 %

I. Refleksioni
pleohroizam realgara

Iz razlike vrijednosti obje uniradijalne moći refleksije dobiva se apsolutna razlika izražena u %, odnosno $\Delta R_{aps} = R_1 - R_2$. Relativna razlika dobiva se po formuli $\frac{\Delta R_{aps}}{(R_1 + R_2)/2} \cdot 100 = \Delta R_{rel}$.

U *Tabeli 10* izračunate su vrijednosti za ΔR_{aps} i ΔR_{rel} kojima se izražava refleksioni pleohroizam realgara.

Tabela (Table) 10

	E	D	C
$\Delta R_{aps} = (R_1 - R_2) \% =$	1,82 %	1,65 %	1,55 %
$\Delta R_{rel} = \frac{\Delta R_{aps}}{\frac{1}{2}(R_1 + R_2)} \cdot 100 =$	8,3 %	8,8 %	8,3 %

Rezultati u *Tabeli 10* pokazuju da je refleksioni pleohroizam realgara iz rudišta Banjak slab. To se slaže s podacima Volinskija (1947) i Ramdohra (1983).

Zaključak

Kvantitativna optička istraživanja nabrusa realgara iz arsenskog ležišta Banjak kod Kiseljaka u polariziranom reflektiranom svijetlu pokazala su da se radi o mineralu monoklinske singonije na temelju otklona u ispunjavanju uvjeta simetrije (Symetrieforderung nach Berrek). Mjerenja moći refleksije fotometrom dala su u zraku za E liniju spektra 21,85 %, za D liniju 19,8 % i za C liniju 18,65 %, rezultati mjerenja u cedrovom ulju za iste linije dala su 8,7 %, 7,55 % i 6,9 %, odnosno vrlo značajan pad moći refleksije. Vrijednosti za reducirani dvolom dokazuju tvrdnju Ramdohra da je anizotropija realgara dosta jaka, ali prikrivena brojnim unutarnjim refleksima. Isto tako osrednje jaki su i podaci za reduciranu biapsorpciju što ukazuje na promjene boje anizotropnih efekata. Izračunate su vrijednosti za obje uniradijalne moći refleksije čija mala razlika je potvrdila da realgar ima nizak stupanj refleksionog pleohroizma.

REFERENCES

- Berek, M. (1936): Diagnostik optisch anisotroper Kristalle aus ihrem Anisotropieeffekt zwischen gekreuzten Nikols im Auflicht. *Zentralblatt für Min. etc., Jahrgang 1936, Abt. A. No 1.*
- Berek, M. (1937): Optische Messmethoden im polarisierten Auflicht. *Fortschritte d. Mineralogie* 22, 1—104
- Cissarz, A. (1928): Reflexionsmessungen an absorbierenden Kristallen mit besonderer Berücksichtigungen der Erzminerale. III Mitteilung. *N. Jb. f. Min., Beil. Bd., 56, Abt. A.* 185—274
- Jurković, I. (1956): Burnonit u baritnoj pojavi Rimska Jama kod Kreševa. *Geol. glasnik* 3, 5—20, Sarajevo
- Jurković, I. (1959): Realgar i auripigment u rudnim ležištima srednjobosanskog rudogorja. *Geol. glasnik*, 5, 199—240, Sarajevo
- Jurković, I. (1962): Kvantitativna optička i spektrografska istraživanja antimonita od Čemernice kod Fojnice. *Geol. glasnik*, 6, 13—22, Sarajevo
- Klein, C. and Hurlburt, Jr. C. S. (1985): *Manual of Mineralogy*, after J. D. Dana, 20th edition, 596 p., Singapore
- Ramdohr, P. (1983): *The ore minerals and their intergrowths*. 2nd edition, vol. 2, 1207 p., Pergamon Press, Berlin
- Schneiderhöhn, H. (1952): *Erzmikroskopisches Praktikum*. Stuttgart
- Volinskij, I. S. (1947): *Opređenje rudnih mineralov pod mikroskopom*. Tom I. Moskva—Leningrad
- Vyalsov, L. N. (1973): *Spektri opraženija mineralov*. Akad. nauk, SSSR, 67 p. Moskva (in P. Ramdohr, 1983)

Quantitative Optical Investigation of the Realgar from the Arsenic-Bearing Deposit Banjak South of the Town of Kiseljak in Bosnia

I. Jurković

The reflectivity of the realgar from the arsenic deposit Banjak given in *Table 1* were measured by means of the Berek's »Spaltnikroskopphotometer« for E, D and C area both in air and in cedar oil.

The parameters of the anisotropism of the realgar in the polished specimen were determined by means of ore reflecting light microscope provided with the Berek's special ocular with the elliptical analyser and rotating mica plate as with the special E. Leitz ocular without polarisation effects.

The following results are obtained and presented in this author's paper: (a) the zero-positions of the mica plate (g_0) and of the analyser (a_0) in the extinction position, *Table 2*; (b) the azimuths of extinction for the polished specimen of the realgar (\bar{o} and \bar{o}) in *Table 3*; (c) computed values for first and second

diagonal positions of the polished specimen of the realgar (o_1 and o_2), in *Table 3*; (d) the azimuths of extinction a_1 and g_1 , a_2 and g_2 in two diagonal positions o_1 and o_2 , *Table 4*; (e) »Symmetrieforderung nach Berek« for the realgar ($g_1 + g_2$) — $2g_0$ and ($a_1 + a_2$) — $2a_0$, in *Table 5*; (f) the characteristic angle τ in *Table 6*; (g) the polarisation coefficient ($\eta_2 - \eta_1$) and the phase coefficient ($\kappa_2 - \kappa_1$) in *Table 7*; (h) the ratio R_2/R_1 in *Table 8*; (i) the values for R_1 and R_2 in *Table 9*; (j) the reflection pleochroism ($R_1 - R_2$) in *Table 10*.

The quantitative optical investigations of the realgar are proved that this mineral belongs to the monoclinic system. It shows relative strong anisotropic effects, strong polarisation colours and a weak reflection pleochroism.