

IVAN JURKOVIĆ

NI-LINEIT (SIEGENIT) I MILERIT
U TURMALINIZIRANOM BARITU KOD BRESTOVSKOG
U SREDNJEBOŠANSKOM RUDOGORJU¹

Pojava barita kod Brestovskog nalazi se 1 km W 20° S od škole u istoimenom selu, a 5 km NW od raskrsnice ceste u Kiseljaku—Busovača i ceste u Fojnicu (sl. 1).



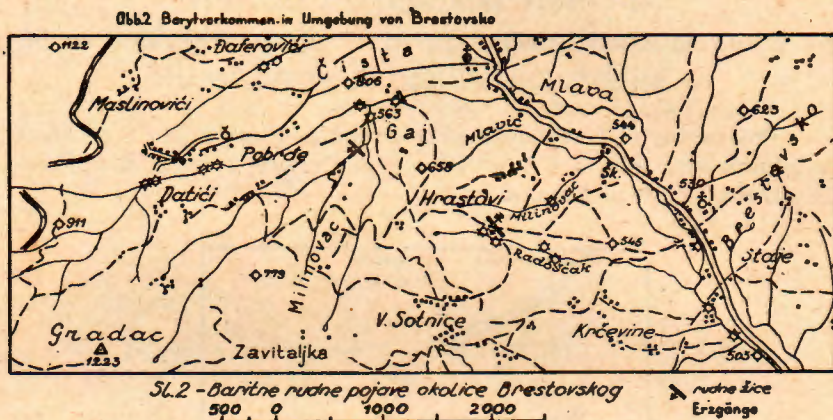
Sl. 1—Položaj rudne pojave Brestovsko u području Fojnica-Kreševo

Mj. 0 1 2 3 4 5 km.
Abb. 1 Lage des Erzvorkommens vom Brestovsko im Fojnica-Kreševo Gebiet

Na brežuljku Hrastovi (+ 600 m) između gornjih tokova potoka Milinovca i Radošćaka otkriven je prije II. svjetskog rata barit i

¹ U pripremi su daljnji radovi o rudnim pojavama Srednjobošanskog rudogorja.

već tada djelomice vađen dnevnim raskopom. Tu pojavu barita spominje kratko L.J. BARIĆ (Lit. 1.; pag. 43) navodeći, da sadrži uz barit i nešto halkopirita. God. 1948. rudna pojava je ponovo otvarana, ali je naskoro zbog loše vrste barita privremeno napuštena, da se ponovo nastavi 1953. god. Tada su nađene još dvije slične baritne pojave kod Gaja i u selu Pobrđu (sl. 2).



Dosadašnji rudarski radovi su skromnih razmjera, većinom plitki raskopi, tek u najnovijim radovima i nekoliko kraćih potkopa.

Rudna pojava barita presijeca blago zaobljeni brežuljak Hrašćani. Rudarskim je radovima otvorena u SO pravcu sve do potoka Radošćak, na dužini 360 m. U dubinu se ušlo tek nekoliko metara, i zbog razlike u apsolutnoj visini brežuljka i potoka razlika u visinama između najviše i najniže položenih radova iznosi oko 40 m.

Materijal, koji sam sabrao u dva navrata, godine 1950. (zajedno sa S. GREGOROM (tada aps. ing. rud.) i 1953., obradio sam mikroskopski, pa rezultate iznosim u ovom radu.

Barit se javlja u obliku žice pružanja N 40—50° W — S 40—50° O s padom prema SW. Žica se nalazi u aktinolitno-epidotnom škrljavcu, koji je u njenoj neposrednoj blizini jako izmijenjen. Sericitizacija, u manjoj mjeri silifikacija, kaolinizacija i limonitizacija potpuno su izmijenili škrljavac i kemijski i fizički. Pružanje i pad slojeva škrljavca odgovara pružanju i padu žice barita, i mjestimice izgleda, da je baritna žica konkordantno uložena u škrljavac.

Debljina rudne žice je promjenljiva, u prosjeku 30—40 cm, smanjujući se mjestimice na 10—20 cm, ili odebljavajući i do 1 m. Kadkad se žica grana u dva ogranka, koji se ponovo sjedinjuju. Žicu prate mali žični ogranci, većinom konkordantno uloženi u škrljavac; ima i malih rudnih leća kao i poprečnih tankih ogranka žica.

Žica je najvećim dijelom izgrađena od sitnozrnatog providnog do poluprovodnog barita, u kojem se vide uklopljene zamjetljive

količine pirita, halkopirita i sericita, manje kremena, a vrlo malo lineita, magnetita i aktinolita. U oksidacionom pojasu žice opaža se znatna količina limonita uz nešto kuprita, tenorita i malahita. Ovi sekundarni minerali djeluju nepovoljno na kvalitet barita. Ima mjesta u žici gdje je atmosferska voda otopila minerale, pa je barit šupljikav.

A. Mikroskopsko ispitivanje u prolaznom svijetlu (Lit. 2 i 3)

Slike 3.—14. u tabelama na kraju

1. Aktinolitno-epidotni škrljavac i promjene nastale orudnjem. Brežuljak Hrastovi izgrađen je od svježeg, tamnozelenog škrljavca u kome se vide golim okom sitni kristalići pirita. Mikroskopskom analizom uzorka stijene iz obližnjeg kamenoloma ustanovljeno je da se radi o aktinolitno-epidotnom škrljavcu lepido-nematoblastične strukture. Stijena je pretežno izgrađena iz štapićastog aktinolita i zrnatog epidota veličine 10—50 mikrona. U lentikularno položenim prostorima paralelno škrljavosti nalaze se sitnozrnati agregati kremena i albita, ponegdje pak nakupine krupnije zrnatog kalcita, dok su zrnca pirita, magnetita i vrlo rijetko listići biotita rasijani u stijeni. Osim tih minerala opažen je i penin bilo duž mlađih pukotina ili kao produkt metamorfoze aktinolita. (sl. 3).

Stijena je jako izmijenjena u području rudne žice i kemijski i fizički. U pneumatolitskoj fazi došlo je do turmalinizacije, rutilizacije, sericitizacije i djelomično do albitizacije i silifikacije. U slijedećoj, hidrotermalnoj fazi nastavljen je proces sericitizacije i silifikacije uz istodobnu piritizaciju. Pri kraju hidrotermalne faze dolazi i do djelomične kaolinizacije glinenaca. U hipergenoj fazi oksidaciono-cementacioni procesi dovode do opsežne limonitizacije rudne žice i okolne stijene, a sumporna kiselina oslobođena kod tih procesa vrši jaku macerizaciju škrljavca, što se odražava na fizičkim osobinama škrljavca (drobljivost ili plastičnost, raznovrsno bojadsanje i t. d.).

2. Ispitivanje uzoraka rudne žice. Mikroskopiranjem tih uzoraka nađeni su slijedeći minerali: Rutil se javlja u obliku mikroskopski sitnih nakupina iglica i štapića (10—30 mikrona), vrlo visokog indeksa loma. Česti su sraslaci po (301) sa kutem sraštanja 54° ; manje ima koljenčastih sraslaca po (101). Turmalin se pojavljuje u obliku kratkostubastih i štapićastih individuuma veličine 8×35 do 50×200 mikrona. Kristalići imadu na jednom kraju lijepo razvijene terminalne piramidске plohe, s karakterističnim poprečnim pukotinama. Odlikuju se izvanredno jakim pleohroizmom: || c ružičastosmeđ-raznih nijansa, ⊥ c zelenocrn. Potamnjuje paralelno; interferira u visokim interferentnim bojama. Pojav resorpcije kristalića nije značajnije razvijen. Kristalići turmalina raspoređeni su svojom dužom stranicom paralelno bokovima rudne žice. (Sl. 4). Magnetit se pojavljuje u velikim zrnima do 1 mm veličine od kojih je dio idiomorfno razvijen, a dio zaobljen uslijed resorpcije. Opak je. U međuprostorima magne-

titnih zrna nalaze se barit i kremen kao mlađi minerali. Limonit se opaža duž pukotina kalavosti barita, prslina kremenica kao i unutar međuprostora tih dvaju minerala u tipičnoj smeđoj boji. Aktinolit je dosta rijedak; ima oblik listića i štapića veličina $0,002 \times 0,3$ mm do $0,3 \times 0,7$ mm ili je u obliku radijalnih snopova. Savršeno se kala $\parallel c$. Bazalni presjeci pokazuju tipični amfibolski sistem pukotina kalavosti pod kutem oko 124° . Izrazito je pleohroitski: $\parallel c$ tamnozelen sa plavkastim tonom, $\perp c$ blijedozelenkasto-žučkast. Potamnjuje koso: $c \wedge Ng = 11-14^{\circ}$. Muskovit je u rudi u obliku bezbojnih listića, savršene kalavosti, paralelnim potamnjenjem i živim interferentnim bojama. Veličine listića su u prosjeku $0,07 \times 0,07$ mm. Pretežno dolazi u snopovima uz turmalin, magnetit i kremen. Klorit je vrlo rijedak, zelen poput trave, niskih interferentnih boja. Kremen je vrlo čest sastojak u rudnoj žici. Javlja se u dvije generacije. Prva generacija je starija od barita i zastupljena je većim (0,1—1 mm) zaobljenim zrnima; jako valovito potamni. Sadrži uklopljena turmalina. Barit ga je potiskivao. Često je poredan u redove u baritu, paralelno bokovima žice. Druga generacija kremenica je mlađa od barita i potiskuje ga duž granica zrna ili pukotina. To su agregati vrlo sitnih alotriomorfni zrnaca. Barit čini pretežan dio rudne žice. Javlja se u obliku agregata krupnokristaliziranih alotriomorfni zrnaca u prosjeku $0,5 \times 0,5$ mm ($0,1 \times 0,15$ mm do $0,9 \times 1,6$ mm). Uklapa starije minerale: turmalin, rutil, kremen i t. d. Bezbojan je, ali pun i submikroskopskog mineralnog praha duž pukotina kalavosti, i vakuola. Savršeno se kala po (001), rjeđe po (110). Ima niske interferentne boje. Vrlo rijetko pokazuje slabo zamjetljivo valovito potamnjenje.

B. Mikroskopska ispitivanja u reflektiranom svijetlu² (Lit. 4)

Proučavanjem nabrusa barita iz rudne žice kod Brestovskog nađeni su slijedeći rudni i nerudni minerali:

a) *primarni minerali*: rutil, turmalin, aktinolit, muskovit, albit, kremen, magnetit, hematit (martit), molibdenit, pirit, elementarno zlato, Ni-lineit (siegenit), milerit, klorit, halkopirit, halkozin, bornit, tetraedrit i barit.

b) *sekundarni minerali*: halkozin, kovelin, kuprit, tenorit, elementarni bakar, limonit, malahit i azurit.³

² Veći dio mineragrafskih ispitivanja obavio sam za vrijeme svoje specijalizacije kod prof. dr. A. Cissarza u Zavodu za geološka i geofizička istraživanja NR Srbije u Beogradu tokom 1953. g. Prof. dr. A. Cissarzu najtoplije zahvaljujem na savjetima u radu i na stalnoj brizi oko moga usavršavanja.

³ Između navedenih rudnih minerala po prvi puta su nađeni i određeni u rudnim pojavama Srednjobosanskog rudogorja slijedeći minerali: molibdenit, Ni-lineit (Siegenit), milerit, halkozin, bornit, kovelin, kuprit, tenorit i elementarni bakar.

a) PRIMARNI MINERALI

Rutil se javlja zajedno sa turmalinom kao idiomorfno razvijeni kratkostubasti, rjeđe vretenastog oblika individui visokog reljefa. Kadkad je uklopljen u turmalinu. Veličine 1—10 mikrona. Umjerene je moći refleksije, svjetlosive boje, jasne birefleksije i jasnih anizotropnih efekata, pojačanih pojavom sraslaca. Brojni žuti i narandžasti unutarnji refleksi.

Turmalin je jako zastupan stubastim kristalima, većinom idiomorfnim, rjeđe zaobljenim sa tipičnim poprečnim pukotinama.

Presjeci \perp c pokazuju karakterističan trigonski habitus. Moć refleksije viša od one barita i kremena. Pokazuje zamjetljivu birefleksiju: \parallel c svijetlije sive boje, \perp c tamnije sive boje. U + Nic. pokazuju stubasti kristali jake anizotropne efekte: \parallel c svijetlosmeđe, \perp c zelenocrne. Presjeci \perp c su izotropni. Javlja se zajedno sa štapičastim aktinolitom i radijalnim snopovima savijenih individuuma muskovita i to u nizovima, koji pokazuju jasnu usmjerenost paralelno bokovima žice.

Muskovit, aktinolit i albit su detaljnije opisani motrenjem u prolaznom svijetlu.

Kremen se javlja (kako je već prije napomenuto) u dvije generacije. Starija u obliku većih zaobljenih zrna, kao stalan pratilac sulfidne parageneze, ali i kasnije pneumatolitske faze, potiskivan po baritu. Mlađa generacija kremena prati postanak sekundarnih minerala, koji su nastali trošenjem halkopirita i pirita stvarajući se osobito duž prslina i šupljina, koje nastaju kontrakcijom gelova pri njihovoj prekrystalizaciji. Taj mlađi kremen potiskuje i barit duž pukotina kalavosti, prslina ili frontalno. Boje je tamnosive, manje moći refleksije od barita i visokog reljefa; u + Nic. pun bijelih unutarnjih refleksa.

Magnetit s martitom (hematitom) se javlja u velikim zasebnim idiomorfno razvijenim individuima (veličine 0,1—1,5 mm) kvadratičnih, trokutastih i oktogonskih presjeka. Mnoga su zrna djelomično zahvaćena resorpcijom. Reljef je vrlo visok kao i u kremena. Umjereno je moći refleksije. U uzduhu je sive boje sa izrazitim ružičastosmeđim tonom, u ulju je taj ton još izrazitiji u kontrastu sa martitom zbog znatno snižene moći refleksije. Izotropan je. Vrlo često smrvljen i cementiran kremenom.

Strukturnim najedanjem sa dimećom vrućom HCl u trajanju od 5" otkrivena je savršena kalavost po (111), zatim izdvajanje tankih, kratkih lamela i pločica ilmenita, a na nekim zrnima slabo izražena zonarna građa.

Proces martitizacije zahvatio je sva zrna magnetita (sl. 5), ali različitom jakošću. Martit se javlja duž oktaedrijskih strukturnih ravnina magnetita napredujući sa rubova zrna ili duž brojnih nepravilnih prslina i stvara mreže raznih oblika. Na gušćim dijelovima mrežice slijevaju se međusobno niti u pločice martita raznih

veličina. Proces se zbio vjerojatno prije sulfidne faze obzirom na reduktivno djelovanje sulfidnih termi.

Martit je u kontrastu s magnetitom većeg sjaja, bijele boje, višeg reljefa; u cedrovom ulju su kontrasti upadljiviji. U + Nic. pokazuje martit jasne anizotropne efekte i česte poput krvi crvene unutarnje refleksije.

Molibdenit je vrlo rijedak. Opažen je samo u dva preparata u obliku idiomorfno razvijenih individua veličine 10—20 μ uklopljenih u tetraedritu (sl. 6) ili u halkopiritu. Reljef ima niži od oba ta minerala. Birefleksija je vrlo visoka: u uzduhu O je bijele sjajne boje, E je sivobijele boje; u cedrovu ulju O je bijele boje, E je sive boje. Anizotropni efekti su vrlo visoki, ali bez promjene boje.

Pirit je uz halkopirit najobilnije zastupani sulfid. Pretežno se javlja u velikim (do 1 mm) idiomorfno razvijenim zrnima kvadratičnih i trokutastih presjeka jako kataklaziranim i cementiranim mlađim halkopiritom. Također se javlja unutar većih masica halkopirita kao jako resorbirano nepravilno zrnje, što podsjeća na tzv. »Auswalzung« strukture. Opažene su lijepe strukture, gdje Ni-lineit, kremen, halkopirit i barit potiskuje pirit. Boje je svijetložute, visokog sjaja i izotropan. Djelomično je zahvaćen procesom limonitizacije.

Zlato (elementarno) je nađeno samo u jednom preparatu, u kremenu, u obliku sitnih, jako nazubljenih zrnaca žute boje, vrlo visokog metalnog sjaja, i hrapave površine. U + Nic. je zelenkaste boje i izotropno.

Ni-lineit (Siegenit) je već makroskopski opažen kao sitna zrnca crvenkastog metalnog sjaja uz halkopirit u uzorcima barita iz dnevnog raskopa.

Ni-lineit iz Brestovskog⁴ se odlično polira. Tvrdoća brušenja je znatno veća od one halkopirita i tetraedrita, ali mnogo manja od one piritita. Tvrdoća paranja (po ogrebotinama) je veća od one halkopirita i tetraedrita.

Moć refleksije je umjereno visoka, krem bijele boje sa karakterističnim ružičastim tonom. U cedrovom ulju je sjaj nešto snižen, ali utisak boje je nepromijenjen. Kadkad se opažaju kataklaze u obliku vrlo finih prslina. Kalavost \parallel (100) rijetko je uočljiva. U + Nic. je potpuno izotropan.

Na mnogim masicama Ni-lineita opaža se izdvajanje milerita duž kristalografskih ravnina (100) u obliku mreže tankih lamela

⁴ Ni-lineit (Siegenit) je u Brestovskom otkriven prvi puta u Jugoslaviji. Zato je izvršeno na njemu niz ispitivanja njegovih konstanti, kao na pr.: određivanje moći refleksije R za razne valovne dužine svijetla u uzduhu i cedrovom ulju, određivanje singonije, izvršena je polukvantitativna spektrografska analiza, snimljen *Debye-gram* i određena veličina brida (ao) elementarne ćelije.

(sl. 7 i sl. 8). Oblik mreže i broj lamela jako koleba. U nekim masicama lineita izdvajanje se očituje tek u nekoliko kraćih lamela milerita, u nekim drugim postoji nekoliko takovih centara izdvajanja, a i takvih gdje su mreže mileritnih lamela tako guste, da dolazi do međusobnog slijevanja i tvorbe više, manje pravilnih krpica milerita. Takve slučajeve je teško razlikovati od sličnih, koji nastaju potiskivanjem Ni-lineita po mileritu. Vrlo rijetko se zapažaju izdvajanja halkopirita.

Osim izdvajanja milerita opaža se često pojav potiskivanja lineita po mileritu \parallel (111). Nastaju dva sistema međusobno okomitih lamela različite širine i dužine (sl. 9). Te lamele obrubljuju male pravokutnike preostalog Ni-lineita, koji tvore okcaste mreže. Širine lamela kolebaju od 1—10 mikrona, a dužine od 50—150 mikrona. Vrlo rijetko se unutar mileritnih lamela opaža po koja lamela halkopirita; češći je slučaj da su šire lamele milerita obrubljene nizovima malih kapljica ili diskova halkopirita.

Ni-lineit pripada vrlo ranom stadiju sulfidne parageneze (katermalna faza) kao i molibdenit, pirit i kremen, koji su mu stalni pratioci. Mlađi je od pirit, jer ga uklapa i potiskuje. Stariji je od halkopirita, bornita, halkozina i tetraedrita. Halkopirit ga potiskuje frontalno (sl. 10) ili duž pukotina i s njim, kao i mileritom je uvijek udružen, kad se javlja u većim masicama do 1 mm veličine. Kad se nalazi u baritu u obliku vrlo sitnih (50 mikrona) masica udružen je uvijek sa halkopiritom, bornitom, halkozinom, tetraedritom i mileritom, ili se javlja sam.

Ni-lineit pokazuje izrazitu tendenciju razvoja u idiomorfim oblicima (100) i (111) ili njihovim kombinacijama.

Vrlo rijetko nosi uklopke halkopirita ili jednog silikatnog minerala vrlo sitnih idiomorfno razvijenih kratkostubastih kristalića (slika 10).

Trošenje Ni-lineita, koji je mnogo rezistentniji od halkopirita napreduje duž oktaedrijskih strukturnih ravnina (sl. 11); prema rezultatima spektrografske analize vjerojatno u morenosit ili retgersit.

Milerit se javlja u ranoj hidrotermalnoj fazi potiskujući Ni-lineit duž (111) u obliku sistema subparalelnih štapićastih individualuma, ili pak agregata ksenomorfni zrnaca, odnosno u obliku dvaju međusobno okomitih sistema širih i užih lamela. U hiperogenoj fazi javlja se milerit kao izdvajanje duž (100) Ni-lineita u obliku tankih lamela.

Polira se odlično. Reljef mu je nešto niži od reljefa Ni-lineita, ali viši od reljefa halkopirita. Vrlo visoke je moći refleksije. Pojavljivanje u obliku lamela pojačava utisak birefleksije (tabela I). Anizotropni efekti su vrlo visoki, ali s malim promjenama boja, koje dolaze jače do izražaja motrenjem u ulju (tabela I).

Tabela I: Šema birefleksije i anizotropnih efekata u milerita
Bireflexion und Anisotropie-effekte des Millerits

Birefleksija (Bireflexion)				Anizotropni efekti Anisotropie-effekte	
uzduh (Luft)		cedrovo ulje (Öl)		uzduh (Luft)	ulje (Öl)
O slabija (dunkler)	E jača (heller)	O slabija (dunkler)	E jača (heller)		
blijeda ružiča- stosivo- žuta boja	sjajna svijetlo- žuta boja	blijeda svijetlo- žuta boja sa ruži- často smeđim tonom	sjajna svijetlo- žuta boja	sivožuta boja sa smeđim to- nom — poput škriljca siva boja sa zelen- kasto plavim tonom	blijeda plavka- sto siva boja — blijeda sivožu- ta boja sa ja- kim smeđim tonom
fahl- rosa- grau- gelb	hell- grau- gelb	fahllicht- gelb mit rosa- braunem Ton	helllicht- gelb	graugelb mit braunem Ton schiefergrau mit grünlich- blauem Ton	fahlbläulich- grau-fahlgrau- gelb mit stark- braunem Ton

Nalazi se na lamele milerita, koje su savinute i rastrgane, a i na sisteme lamela, koji lagano valovito potamnjuju. Pojedinačno lamele potamnjuju pod 30° kao u minerala trigonske singonije.

Klorit je detaljnije opisan motrenjem u prolaznom svijetlu.

Halkopirit je uz pirit češći mineral u paragenezi. Žute je boje, dosta visokog sjaja, koji se u ulju zamjetljivo snizuje. Birefleksija se jedva zapaža na granicama zrna. Anizotropni efekti su vrlo slabi, jasniji tek u agregatu više individua. Efekt anizotropije se pojačava malim zaokretom nikola. Sraslaci su dosta rijetki

Kalavost je po (111) i očituje se vrlo jasno produktima oksidacije. Kataklaze se kadkad opažaju u obliku nepravilnih pukotina. Oblik zrna je izometričan, veličine do 1 mm.

Halkopirit potiskuje pirit, Ni-lineit (vidi sl. 11) i halkozin. U nekim većim masicama halkopirita nalaze se razdrobljena, resorbirana zrnca piritita.

Rudna pojava je otvorena dobrim dijelom u oksidacionom pojasu, te se u preparatima opažaju vrlo instruktivni primjeri trošenja halkopirita. Utvrđena su 4 tipa trošenja: 1. $\text{CuFeS}_2 \rightarrow \text{limonit}$, 2. $\text{CuFeS}_2 \rightarrow \text{CuS} \rightarrow \text{limonit}$ (sl. 13), 3. $\text{CuFeS}_2 \rightarrow \text{Cu}_2\text{S} \rightarrow \text{limonit}$, 4. $\text{CuFeS}_2 \rightarrow \text{CuS} + \text{Cu}_2\text{S} \rightarrow \text{limonit}$. Pojedini tipovi prevladavaju u raznim dijelovima rudišta već prema tome da li se radi o oksidacionom ili prelaznom oksidaciono-cementacionom pojasu. U dnevnom raskopu prevladavaju tipovi 3 i 4; a na radilištu broj 0, koje je u prelaznom pojasu, i gdje se javljaju bakarni oksidi i karbonati, prevladava tip 1, manje tip 3.

Halkopirit pripada sulfidnoj generaciji orudnjenja. Potiskuju ga barit, tetraedrit, kadkad bornit i mlađa generacija kremena, kao i sekundarni minerali nastali njegovim trošenjem.

Halkozin se javlja samo u sitnim zaobljenim zrnima manjim od 50 mikrona, pa ga je neki puta teško razlikovati od tetraedrita. Reljef ima niži od tetraedrita. Izotropan je. Većinom je udružen sa halkopiritom, bornitom ili tetraedritom.

Bornit je ružičastosmeđe boje u svježe poliranim preparatima. Umjerene je moći refleksije. Stajanjem na uzduhu dobiva crvenkastosmeđu i ljubičastu boju. U cedrovom se ulju moć refleksije znatno snizuje, a boja poprima narančasto-ružičast ton. Reljef mu je niži od reljefa halkopirita, a također i tvrdoća paranja. Javlja se u okruglim zrcima manjim od 50 mikrona sam ili s halkopiritom, rjeđe halkozinom i tetraedritom, odnosno Ni-lineitom. Zbog male veličine zrna nije se moglo odrediti da li pokazuje birefleksiju i anizotropne efekte.

U bornitu nema izdvajanja halkopirita, što je normalno obzirom na prisutnost halkozina. Ali karakteristična je pojava bornita i halkopirita u obliku međusobno sraslih okruglih i zaobljenih zrnaca. Po P. RAMDOHRU (Lit. 4; pag. 334) je to rezultat raspadanja halkopirita nastalog kod više temperature, pri kojoj je otopio veću količinu bornitske molekule.

Tetraedrit se javlja većinom u sitnim zaobljenim masicama manjim od 50 mikrona sam ili s ostalim sulfidima. Rjeđe se opažaju veće mase (do $0,7 \times 0,5$ mm) s halkopiritom. Boje je svijetlosive, umjerene moći refleksije, višeg reljefa od reljefa halkopirita. Izotropan je. Kataklaze se vide kao vanredno fine, nepravilne pukotine. Zahvaćen je djelomično oksidacijom.

Barit sačinjava glavnu masu rudne žice u otvorenom dijelu rudišta. Pojavljuje se kao masa sitna alotriomorfna zrnja veličine u prosjeku $0,5 \times 0,5$ mm. Niske je moći refleksije, ali je svijetliji od kremenca. Reljef mu je znatno niži od reljefa kremenca, a nešto viši od reljefa halkopirita. U + Nic. pokazuje mnogo bijelih unutarnjih refleksa.

Mlađi je od svih ostalih primarnih minerala, jer ih uklapa, a mnoge i potiskuje. Minerali nastali trošenjem sulfida (naročito halkopirita) potiskuju barit ili se kristaliziraju u njegovim druznim šuplinama kao na pr. lijepe družice malahita, pa prevlake kuprita.

U baritu se opaža i proces silifikacije. Djelomice bio je taj proces aktivan i prije oksidaciono-cementacionih procesa, ili ih prati.

b) Sekundarni minerali

Milerit se javlja kao izdvajanje u Ni-lineitu.

Kovelin je nastao trošenjem halkopirita, kadkad i trošenjem tetraedrita. Kovelin potiskuje halkopirit po strukturnim ravninama oktaedra (111) u obliku lamela ili pločica (vidi sl. 12) različite dužine i širine. U preparatima motrimo više stadija potiskivanja. Negdje je potiskivanje toliko napredovalo, da su od halkopirita preostale samo male masice, dok je ostali dio izmijenjen u

kovelin, halkozin i limonit. U nekim preparatima halkozin je prvi produkt trošenja halkopirita kao unutarnji ovoj, a kovelin se tada nalazi kao vanjski omotač oko zone trošenja. Na radilištu broj 0 opazili smo kovelin i halkozin, koji su nastali procesom cementacije.

Kovelin se ističe svojim poznatim, osobito istaknutim efektima birefleksije i anizotropije.

Halkozin je vrlo čest produkt trošenja halkopirita bilo sam ili s kovelinom. Javlja se u finoizrnatim agregatima, statistički izotropnim i sivobijele boje.

Kuprit se javlja kao krpice ili finozrnati pigment u praškastoj smjesi limonita i tenorita (vidi sl. 13), koji su nastali trošenjem halkopirita. Dolazi i unutar kremenca mlađe generacije u obliku manjih masica ritmičkih struktura i tada se u njima nalaze sitna zrnca ili nazubljene krpice elementarnog bakra. Kuprit se javlja naročito u onim dijelovima rudišta gdje se nalazi malahit, te cementacijom nastali kovelin i halkozin. Kadkad kuprit izgrađuje sam, u obliku sitnozrnatog agregata, dijelove ili cijele omotače ritmičkih struktura nastalih trošenjem halkopirita. Boje je sivobijele s plavkastim tonom. Sjaj mu je dosta visok, znatno viši od sjaja praškaste mase limonita i tenorita (sl. 13), iz koje se jasno ističe. Anizotropni efekti su jasni, često prekriveni poput krvi crvenim unutarnjim refleksima, naročito kad ga motrimo u cedrovom ulju.

Tenorit dolazi većinom najfinije izmiješan sa limonitom, koji je nastao trošenjem halkopirita, u lijepim ritmičkim strukturama. Rjeđe sam tvori dijelove ili cijele ovojnice takvih struktura, i tada, u obliku sitnozrnatih agregata. U takvim agregatima jasne su birefleksija i anizotropija, naročito u ulju. Praškaste mase s limonitom su statistički izotropne.

Elementarni bakar se javlja isključivo u kupritu, ili kao pojedinačna zrna ili sitnozrnati, jako nazubljeni agregati, ili pak u vidu finih impregnacija. Reljef ima niži od reljefa kuprita. U svježje poliranom preparatu imade vrlo visok sjaj ružičaste boje. Stajanjem preparata u zraku bakar se prekriva crvenosmeđim tonovima. Izotropan je.

Malahit je čest mineral u oksidacionoj zoni rudišta u formi radijalnih, vlaknatih agregata u druznim šupljinama barita ili kao sitnozrnati agregati pojedinih omotača ritmičkih struktura, koje su nastale trošenjem halkopirita. Umjereno niskog je sjaja, ali višeg od sjaja barita i kremenca. Odlikuje se jasnom birefleksijom, jakim anizotropnim efektima, kosim potamnjenjem i brojnim smaragdnozelenim unutarnjim refleksima.

Azurit je vrlo rijedak i karakterističan svojim modrim unutarnjim refleksima.

C. Mjerenje moći refleksije Ni-lineita (Siegenita) i nekih drugih minerala pomoću Berekovog mikroskop-fotometra

Nakon justiranja BEREK-ovog mikroskop-fotometra (Spaltmikroskopphotometer nach BEREK) baždari smo ga pomoću etalona

(Lit. 5). Kao etalone upotrebili smo polirane preparate galenita i sfalerita kako to preporuča A. CISSARZ (Lit. 6). Za naše etalone uzeli smo uzorke galenita iz rudnika Dobrevo (Makedonija) i Šuplje Stijene (Crna Gora) i providnog svijetložutog sfalerita iz rudnika Lece (Srbija). Fotometriiranje smo proveli po 10 puta za C (crvenu), D (narandastu) i E (zelenu) liniju vidljivog dijela spektra, upotreblivši odgovarajuće staklene filtere firme E. Leitz, i to zasebno u uzduhu s objektivom P 3b i zasebno u cedrovom ulju s objektivom 1/7 Fl. Kod svakog fotometriiranja očitana je azimut WR na mjernom krugu fotometra i iz 10 očitavanja (za svaku liniju spektra zasebno) izračunata je srednja vrijednost azimuta WR za etalon za dotičan filter, u uzduhu odnosno u ulju. Srednje vrijednosti WR nanešene su na apscisi specijalnog logaritamskog papira firme E. Leitz (uvećanog formata), koji se upotrebljava za taj fotometar, dok su na ordinatu nanešene odgovarajuće vrijednosti moći refleksije R za galenit, odnosno sfalerit, kako ih navodi A. CISSARZ (I. c.). Na taj način dobivene su baždarne krivulje za svaku liniju spektra u uzduhu i ulju. Po istom postupku fotometriрани su neki minerali iz Brestovskog i iz njihovih vrijednosti W_r (iz 10 očitavanja) za određenu liniju spektra očitane su vrijednosti moći refleksije r u % na odgovarajućoj baždarnoj krivulji, na njezinoj ordinati. Kontrolu vrijednosti za moći refleksije proveli smo izračunavanjem po formuli $r = \frac{R \cdot \sin^2 W_r}{\sin^2 WR}$ zaokruživši dobivene rezultate na cijele brojeve ili na 5 u prvoj decimali. (Tabela II).

Tabela II: Vrijednosti moći refleksije r u %
Reflexionsvermögenswerte r in %

Minerali Mineralien	Uzduh (Luft) P 3b			Cedrovo ulje (Öl) 1/7 Fl		
	E	D	C	E	D	C
Ni-lineit	48	47,5	47	34	34,5	34
Ni-Linneit (Siegenit)	47	47,5	46,5	33	33,5	34
Tetraedit Fahlerz	32	31,5	29,5	E = zelena linija spektra (grün)		
	32	31	29,5	D = narandžasta linija spektra (orange)		
Halkopirit Kupferkies	39	44	43	C = crvena linija spektra (rot)		
	38,5	44	43			
	39,5	45	44			
Malahit Malachit-	9	8,5	8,5			
Kremen Quarz	5	4,7	5			
Barit Baryt	6	6	5,8			

P. RAMDOHR (Lit. 4, pag. 567) daje samo vrijednosti moći refleksije za lineit, karolit i polidimit, a ne daje za Ni-lineit (Siegenit). Krivulja disperzije moći refleksije za Ni-lineit iz Brestovskog leži najbliže vrijednostima tih krivulja za lineit i karolit, jedino što su po nama dobivene vrijednosti prosječno 2% veće. W. UYTENBOGAARDT (Lit. 7, pag. 146) navodi u svojim tablicama da su vrijednosti moći refleksije za siegenit dosada neodređene, ali da su vrlo bliske vrijednostima za lineit. I. S. VOLINSKIJ (Lit. 8; pag. 133) daje za siegenit vrijednost od 46% za narančasti dio spektra (D. linija), u uzduhu.

D. Istraživanje Ni-lineita iz Brestovskog sa Berekovim specijalnim okularom s eliptičnim analizatorom⁵

Nakon justiranja aparature određeni su nul položaji tinjčeve pločice (g_0) i analizatora (a_0) na način kako to opisuje M. BEREK (Lit. 9). Za postizavanje monohromatskog svijetla upotrebio sam stakleni zeleni filter (firme E. Leitz) od 2 mm debljine, čije je optičko težište na $575 \text{ m}\mu$ sa konstantama $C = \cos 2\pi \frac{\Gamma}{\lambda} = 0,375$ i $S = \sin 2\pi \frac{\Gamma}{\lambda} = 0,927$. Radi otklanjanja efekata polarizacije upotrebljen je specijalni objektiv 3b C (A 0,40 16,5 : 1) firme E Leitz, koji je bez efekata polarizacije. Kao etalon služio je galenit iz Vrtlasca (Bosna), t. j. izotropan mineral visoke moći refleksije. Kompenzacije za a_0 i g_0 izvedene su za dva položaja preparata galenita zaokrenuta međusobno za 45° . Kompenzacija je izvedena po 10 puta za svaki od oba položaja i svaki puta su očitani azimuti tinjčeve pločice i analizatora, i iz njih izračunate srednje vrijednosti (tabela III). Po istom smo postupku izveli mjerenja i za Ni-lineit iz Brestovskog (tabela III).

Tabela III Azimuti a i g za galenit (etalon) i Ni-lineit iz Brestovskog u položajima kompenzacije.

Asimute a und g für Galenit (Etalon) und für Ni-Linneit vom Brestovsko in Kompensationslagen.

Položaj Lage	Etalon (Galenit)	Ni-lineit (Ni-Linneit)
I	$a'_0 = 47,5^\circ$ $g'_0 = 49,1^\circ$	$a_1 = 47,6^\circ$ $g_1 = 49,1^\circ$
II	$a''_0 = 47,5$ $g''_0 = 49,1^\circ$	$a_2 = 47,6^\circ$ $g_2 = 49,0^\circ$

⁵ Berek-ov »Spaltphotometerokular« postavili smo na Leitz-ov MOP stativ rudnog mikroskopa, a kao izvor svijetla služila nam je niskovoltajna svjetiljka (Monla-Lampe 6V 5A). — Isto tako je na MOP stativ postavljen i Berek-ov specijalni okular s eliptičnim analizatorom, a za izvor svijetla upotrebili smo istu niskovoltajnu svjetiljku. Mjerenja na oba aparata izvršio sam u Zavodu za geološka i geofizička istraživanja NR Srbije u Beogradu. Zahvaljujem upravi Zavoda na susretljivosti.

Prema tome je Ni-lineit iz Brestovskog izotropan i mineral kubične singonije.

E. Spektrografsko ispitivanje Ni-lineita iz Brestovskog

Uzorak Ni-lineita za spektrografsko istraživanje pripremio sam izbušivanjem pomoću specijalne zubarske bušilice iz 3 rudna preparata, koji su ga sadržavali u većoj količini.⁶ Izbušeno je oko 5 mg lineitnog praha. To je bio pretežno Ni-lineit, odnosno Ni-lineit s početnim stadijem izdvajanja milerita, te nešto halkopirita, tragovi barita i kremenca.

Spektrografsko snimanje je izvedeno na velikom spektrografu tipa Litrow Quarzglass sa autokolimacionim sistemom. Upotrebile su ugljene elektrode: Highly purified Carbon Rods HS Brand firme Johnson, Matthey, & Co Ltd., London, koje sadrže po 2—3 jedva vidljive ili rijetko vidljive ultimne linije Mg, Si, Fe, Ca, Al, Na, Cu, K, Ag, i Cr.

Dubina kratera na elektrodama iznosila je 10 mm, a promjer 2 mm. Za snimanje je upotrebjeno oko 4 mg supstance, a ostatak je ostavljen za rentgensku analizu. Za komparaciju je snimljen spektar željezne elektrode od spektralno čistog željeza firme Johnson, Matthey, & Co. Ltd., London, koje sadrži neznatne količine (0,001—0,0001%) Si, Ni, Cu, Co, Mn, Ag, i Mg t. j. po jednu ili najviše dvije jedva vidljive ultimne linije.

Snimanje je izvršeno istosmjernom strujom od 220 V preko elektromotora i sa Hartmannovom diafragmom. Upotrebili smo Ilford Ordinary-plate, koje su osjetljive između 2200—5200Å. Tehnički posao snimanja izvršio sam s Miloradom ARSENIJEVIĆ-em, mineralogom Zavoda za geološko-rudarska i tehnološka istraživanja u Beogradu, u istom Zavodu, te mu ovom prilikom zahvaljujem na pomoći.

U Tabeli IV. prikazani su uvjeti snimanja spektra Ni-lineita iz Brestovskog.

⁶ Za taj rad upotrebjene su specijalne čelične igle (Ash Guaranteed Burs, Round ¼ — Made in England) pričvršćene na posebnu glavu bušilice (Handstück 410, Dentalwerk Bürmoos). Stroj je radio na električni pogon sa nožnim regulatorom broja okretaja čelične igle. Bušenje je vršeno uz istovremeno promatranje površine preparata s objektivom P 1b rudnog mikroskopa firme E. Leitz. Rad je obavljen na stroju Zavoda za geol. i geofizička istraživanja NR Srbije u Beogradu.

Tabela IV. Uvjeti snimanja spektra Ni-lineita iz Brestovskog Aufnahme-Bedingungen des Ni-Linneitspektrums

Uzorak-lokalitet Probe-Lokalität	Položaj kasete Kassettenlage	Hartmanova diafragma Hartmanns Diaphragme	Količina supstance Menge der Substanz	Jakost struje Stromstärke	Vrijeme ekspozic. Exposition	Snimljeno područje spektra Aufnahmebereich des Spektrums
Ni-lineit Brestovsko Ni-Linneit	45	Gornja Obere	4 mg	3 A	15"	4.000—2.600 Å
Fe elektroda Fe Elektrode	45	Srednja Mittlere		3 A	5"	4.000—2.600 Å
Ni-lineit Brestovsko Ni-Linneit	45	Donja Untere	Preostala količina već jednom iza- rene sup- stance Die übrig- gebliebene Mengeschon einmal ge- glühten Substanz	3 A	25"	4.000—2.600 Å

Nakon snimanja sa gornjim otvorom Hartmanove diafragme, iste su ugljene elektrode bez dodavanja nove supstance, ponovo izarene i snimljene sa donjim otvorom Hartmanove diafragme. Time smo htjeli postići isparavanje i teže hlapivih metala.

Identifikaciju spektralnih linija proveo sam na Hilgerovom mikroprojektoru uvećanja 1 : 20 u istom Zavodu služeći se djelima W. C. BRODE-a (Lit. 10) i G. R. HARRISONA (Lit. 11).

Ispitivanje je izvršeno na slijedeće elemente: Mo, Ta, Os, Cb, Rh, Ru, Pd, Sb, Sn, Hg, As, Au, Cd, Fe, Co, Ni, Pb, Bi, Cu, Ba, Si, Al, Mg, Mn, Ag, Zn i W, dakle 27 elemenata.

Nađene su sa sigurnošću linije slijedećih elemenata: Co, Ni, Fe, Cu, Pb, Bi, Ba, Si, Ag, Zn, Mg i Al, a kao sporne ostale su linije Au i Pd.

Ukupno je identificirano 343 spektralnih linija: 122 linije Co, 100 linija Ni, 93 linije Fe, 15 linija Cu, po 2 linije Ag, Pb, Ba, Al, Zn i po jednu liniju od Bi, Mg i Si, te po jednu spornu liniju Au i Pd.

U tabeli V. navedene su najjače rezonantne linije traženih elemenata. Kraj svake linije označen je u zagradi njezin intenzitet brojkama 1 do 10, označujući sa 1 jedva zamjetljive linije, a s 10 vrlo jake linije.

Tabela V: Najjače rezonantne linije, za označenim relativnim intenzitetom, u spektru Ni-lineita iz Brestovskog

Die stärksten Resonanzlinien mit relativen Intensitäten im Spektrum Ni-Linneits von Brestovsko

Cu	U ₂	3273.96(10);	U ₁	3247.55(10);	2824.37(6);	2618.37(6);	ostale linije s intenzitetom slabijim od (4).	
Pb	U ₁	2833.07(4);		2873.32(1);				
Ag	U ₂	3382.89(4);	U _r	3280.67(5);				
Si	U ₁	2881.58(7);						
Mg	U ₁	2852.13(6);						
Al	U ₁	3092.84(5);		3092.71(3);				
Ba	U ₆	3071.59(5);						
Zn	U ₁	3282.33(1);						
Fe		3056.09(6);	3037.39(5);	3021.73(6);	3020.64(7);	3000.95(6);		
		2994.43(8);	2983.57(6);	2973.24(8);	2973.13(8);	2966.90(7);		
Bi	U ₁	3067.72(3);						
Au(?)	U ₂	2675.95(2);						
Pd(?)		3433.45(5);						
Co		3506.32(6);	3502.28(7);	3495.69(6);	3489.40(5);	3483.42(6);		
		3474.02(8);	3465.80(9);	3462.80(8);	3455.23(6);	U ₁ 3453.51(9);		
		3449.44(9);	3449.17(9);	3433.04(6);	3417.16(5);	3415.78(9);		
		3412.63(5);	3412.34(5);	3409.18(5);	3405.12(9);	3395.38(6);		
		3388.17(5);	3385.22(5);	3367.11(5);	3354.38(5);	3334.14(5);		
		3254.21(5);	3147.06(4);	3086.78(6);	3082.62(5);	3072.34(6);		
		3061.82(6);	3044.01(7);	2989.59(5);	2987.16(5);	2794.82(5);		
Ni		3492.96(9);	3438.78(7);	3472.55(9);	3461.65(9);	3458.47(10);		
		3452.89(6);	3446.26(9);	3437.28(7);	3433.56(6);	3423.71(7);		
	U ₁	3414.77(9);	3392.99(9);	3369.58(8);	3315.66(8);	3243.06(7);		
		3233.96(8);	3134.11(9);	3101.88(10);	3101.55(10);	3057.64(9);		
		3054.32(9);	3050.82(10);	3037.94(8);	3019.14(7);	3012.00(9);		
		3003.63(9);	3002.49(10);	2994.46(8);	2992.60(7);	2984.13(6);		

Približan kvantitativan odnos pojedinih elemenata mogao bi se izraziti na slijedeći način (u pojedinom redu količine opadaju od lijeva na desno):

Tabela VI: Kvantitativni odnos pojedinih elemenata u Ni-lineitu
Quantitative Verhältnisse einzelner Elemente in Ni-Linneit

XO,	% Ni, Co,
X,	% Cu, Fe
O,X	% Si, Ba
O,OX	% Mg, Ag Al,
O,OOX	% Pb, Bi
O,OOOX	% Au?, Zn

Spektrografska analiza dokazala je dakle, da se ne radi o arsenidu ili antimonidu Co i Ni, već o sulfidu, t. j. o mineralu grupe lineita. Iz međusobnog odnosa glavnih elemenata $\text{Co}:\text{Ni} \approx 1:1$ i značajnih, ali ne bitnih količina Fe i Cu zaključujemo, da je lineit iz Brestovskog tzv. Ni-lineit (Siegenit). Prema DANA's System of Mineralogy (Lit. 12; pag. 262), a na osnovi naše polukvantitativne spektrografske analize, dajemo ovu približnu formulu: $(\text{Ni, Co})_2(\text{Ni, Co, Fe, Cu})\text{S}_4$.⁷

⁷ Za kvantitativnu kemijsku analizu nismo do sada mogli, zbog intimne veze Ni-lineita sa halkopiritom u rudi, izolirati posve čistu supstancu Ni-lineita.

Cu i Fe pripadaju jednom dijelom mehanički primiješanom halkopiritu, a drugim dijelom molekuli Ni-lineita, što dokazuje ranije mikroskopski konstatirano izdvajanje halkopirita u Ni-lineitu iz Brestovskog. Si, Mg i Al potječu od inkluzija vrlo sitnih silikata, mikroskopski konstatiranih u Ni-lineitu; Si potječe djelomice i od mehanički primiješanog kremenca, Mg pak vjerojatno pripada kao izomorfna primjesa razgradnim produktima Ni-lineita. Uloga Ag, Pb, Zn i Bi nije jasna, i ako je njihova prisutnost od velike geokemijske važnosti.

F. Rentgenografsko ispitivanje Ni-lineita iz Brestovskog⁸

Za snimanje je upotrebljen preostali dio lineitnog praha (1 mg) nakon spektrografske analize. Mineralni prah je učvršćen sa kolodijem na vrlo tanku staklenu nit. U tabeli VII izneseni su svi uvjeti snimanja rentgenograma Ni-lineita iz Brestovskog.

Tabela VII: Uvjeti snimanja rentgenograma Ni-lineita iz Brestovskog
Aufnahme Bedingungen des Ni-Linleitröntgenogramms

Tip komore Kammertyp	2 R komore des Kam- mers	2 R _{ef} komore des Kam- mers	Postupak snimanja Aufnahme- verfahren	Film 35 × 155 mm	Ø štapića des Stäb- chens	Anoda Anode
Phillips Metallix	57,3 mm	57,210 mm	Strau- manis asime- trična metoda Strau- manis asyme- trische Methode	Iford Indu- strial B X-Ray Film, H. Iford, Ltd. London	0,02 cm	Co

Anti- katoda Anti- kathode	Filter Filter	Napetost u X cijevi Die Spannung in d. X-Röhre	Jakost struje u X cijevi Stromstärke in d. X-Röhre	Količina supstance Menge d. Substanz	Temp. u °C Temp. in °C
Co (K _{α1}) λ=1,78892 (Lit. 13., pag. 644)	Ni	25 KV	21 mA	∞ 1 mg	25°

⁸ Snimanje je izvršeno u Zavodu za geološko-rudarska i tehnološka istraživanja u Beogradu.* Sam snimak načinio mi je Ilija Krstanović, asistent Prirodoslovno-matematskog fakulteta u Beogradu, na čemu mu i ovdje zahvaljujem. Upravi Zavoda zahvaljujem na susretljivosti.

Čitanje DEBYE-grama (sl. 14.) izvršio sam na specijalnom čitaču linija: Film Rule Measuring, tt. Hilger & Watts, London sa točnošću od $\pm 0,05$ mm u Zavodu za geološko-rudarska i tehnološka istraživanja u Beogradu. Kontrolno čitanje linija izvršio sam na specijalnom komparatoru (mikroskopu) firme Huet (Pariz), čija je točnost čitanja $\pm 0,01$ mm (izvedeno u Fizikalnom zavodu Prirod.-matem. fakulteta u Zagrebu). Na tom istom komparatoru očitani su podaci za računanje efektivnog radiusa komore (R_{ef}) po formuli

$$R_{ef} = \frac{1}{2\pi} [(x'_1 + x'_2) + (x_1 + x_2)].$$

Izračunata vrijednost za R_{ef} iznosi 28,605 mm, a iz nje izlazi korektura za radius komore od $+0,15\%$, koja je uzeta u obzir kod preračunavanja očitanih vrijednosti za d na filmu. Očitane vrijednosti za d korigirane su također za debljinu štapića sa mineralnim prahom ($2r = 0,02$ cm) po formuli $k = \frac{1}{2}r(1 + \cos 2\theta)$ (Lit. 13; pag. 203.). U tablici VII. izneseni su rezultati preračunavanja Debye-grama Ni-lineita.

Tabela VIII: Preračunavanje Debye-grama Ni-lineita iz Brestovskog Lit 14, pag. 203—204
Auswertung des Debye-gramms des Ni-Linneits von Brestovsko

Očitani d u mm Abgemess. d in mm	Korigirani d u mm Korrigiertes d in mm	θ°	$d \text{ \AA}$	hkl	a_0 u \AA		Intenzitet linija Intensität der Linien I/h
					direktno iz hkl direkt aus hkl	računski (be- rechnet) iz (aus) $\alpha = \sqrt{\frac{I^2}{4A}}$	
15,600	15,530	15° 31,8'	3,343	220		9,449	60
18,325	18,262	18° 15,7'	2,854	311		9,465	100
22,325	22,262	22° 15,7'	2,361	400	9,444	9,444	80
25,175	25,131	25° 7,9'	2,106	420		9,402	50
27,675	27,639	27° 38,3'	1,928	422		9,444	30
29,475	29,443	29° 26,6'	1,820	511 333	9,457	9,455	80
32,400	32,378	32° 22,7'	1,670	440		9,449	100
34,150	34,133	34° 8,0'	1,594	531		9,428	10
35,800	35,788	35° 47,3'	1,530	611 532		9,428	10
36,750	36,741	36° 44,5'	1,495	620		9,455	10
38,425	38,422	38° 25,3'	1,439	533		9,439	30
41,00	41,005	41° 0,3'	1,363	444	9,443	9,444	40
42,55	42,560	42° 33,6'	1,322	711 551		9,444	10
45,15	45,168	45° 10,1'	1,261	642		9,439	30
46,62	46,643	46° 38,6'	1,230	731 553		9,449	50
49,25	49,281	49° 16,9'	1,180	800	9,440	9,439	10
57,98	55,03	55° 1,8'	1,091	751 555	9,448	9,455	60
57,72	57,778	57° 46,7'	1,057	840		9,455	60
64,41	64,488	64° 29,3'	0,991	931		9,455	50
67,83	67,928	67° 55,7'	0,965	844		9,460	90
74,67	74,775	74° 46,5'	0,927	10, 2, 0 862		9,455	20
78,00	78,113	78° 6,8'	0,914	951 773		9,455	80

srednja vrijednost za a_0 (\AA) = 9,446 9,446

U DANA's System of Mineralogy (Lit. 12, pag. 262) vrijednost dužine brida elementarne ćelije za Ni-lineit (siegenit) $a_0 = 9,41 \text{ \AA}$.

Vrijednosti za d (u \AA) vrlo lijepo se podudaraju sa vrijednostima, koje daju G. A. HARCOURT (Lit. 15), G. L. De JONG-WILLEMS (Lit. 16) i D. LUNDQUIST-D. WESTGREN (Lit. 17), te tako i Debye-gram potvrđuje, da je naš mineral član grupe lineita.

G. Geneza rudišta (Lit. 18 i Lit. 19)

Rudište Brestovsko je prelazno pneumatolitsko-hidrotermalno rudište. Promjene facijesa parageneza su temporalnog karaktera. Uz tipične minerale pneumatolitske faze javljaju se i minerali hidrotermalne faze širokog raspona, od kata, preko mezo do epitermalnih minerala (tablica IX.)

Početak orudnjenja pada u pneumatolitsku fazu dovođenjem bornih i fluornih para i superkričnih fluidnih rastopina sa Ti^{4+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , Al^{3+} , Si^{4+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Na^+ , L^+ (?) ionima. Jedan dio ovih metala potječe i iz samog aktinolitno-epidotnog škriļjavca. U toj fazi dolazi do nastajanja rutila, turmalina, albita, aktinolita i magnetita uz istodobno vrlo jak proces sericitizacije i djelomično silifikacije škriļjavca.

Nakon jedne umetnute tektonske faze (kataklaziran magnetit cementiran kremenom) nastavlja se sulfidna faza (kata i mezothermalna) dovođenjem Mo, Fe, Ni, Co, Cu iona i H_2S . Pri kraju te faze dolaze neznatne količine As i Sb i stvaranje tetraedrita. U sulfidnoj fazi nastaju pirit, Ni-lineit, milerit, halkopirit, halkozin, bornit i tetraedrit. U toj fazi produžava se proces sericitizacije (dovođenje K^+ iona), koji daje glavni biljeg orudnjenju i promjenama u okolnoj stijeni. Uz sericitizaciju igraju izvjesnu, iako daleko manju ulogu procesi silifikacije, kloritizacije i kaolinizacije.

Nakon ponovnog prekida slijedi treća, glavna faza orudnjenja odlaganjem barita iz epitermalnih termi.

U hipergenoj fazi (supergenoj) dolazi do značajnih promjena primarnih minerala rudne žice. Tako se vrši limonitizacija pirita, trošenje halkopirita u kovelin, halkozin, kuprit, tenorit, elementarni bakar i malahit, zatim izdvajanje milerita u Ni-lineitu, trošenje tetraedrita, daljnja kaolinizacija glinenaca u okolnim škriļjavicima, te značajna silifikacija barita.

Tektonika žice. Da je rudna žica bila jako tektonski pokretana dokazuje u prvom redu upravo napadno istosmjerni raspored (Regelung) turmalina, magnetita, pirita paralelno bokovima žice; zatim jako izražene kataklaze na magnetitu, piritu, kremenu (neplastični minerali!) i intenzivno izraženo valovito potamnjenje kremenca. Mišljenja smo; da su pojavljivanje halkopirita, bornita i halkozina u

okruglim sraslim zrnima (strukture raspada) kao i izometrična, alotriomorfno sitnozrnata struktura barita rezultati prekrizalizacije ovih plastičnih minerala pod uplivom tektonike.⁹

LITERATURA:

1. LJ. BARIĆ, Mineraloško-petrografsko istraživanje bosanskog rudogorja. Vjesnik hrv. drž. geol. Zavoda i hrv. drž. geol. muzeja, Svezak I, pag. 39—46, Zagreb 1942.
2. V. I. LUČICKIJ, Petrografija. Tom I, Moskva-Leningrad 1947.
3. A. N. WINCHELL-H. WINCHELL, Elements of Optical Mineralogy, fourth edition. Part II. Descriptions of Minerals. New York—London 1951.
4. P. RAMDOHR, Die Erzminerale und ihre Verwachsungen. Berlin 1951.^{*}
5. M. BEREK, Optische Messmethoden in polarisierten Auflicht. Fortschritte der Mineralogie 22, 1—104, 1937.
6. A. CISSARZ, Reflexionsmessungen an absorbierenden Kristallen mit besonderer Berücksichtigung der Erzminerale. III. Mitteilung. N. Jb. f. Min. Beil. — Bd. 56. A. 185—274 (1928.)
7. W. UYTENBOGAARDT, Tables for microscopic identification of ore minerals. Princeton, New Jersey 1951.
8. I. S. VOLINSKIJ, Opređenije rudnih mineralov pod mikroskopom. Tom I. Moskva-Leningrad 1947.
9. M. BEREK, Diagnostik optisch anisotroper Kristalle aus ihrem Anisotropieeffekt zwischen gekreuzten Nikols im Auflicht. Zentralblatt für Min. etc. Jahrgang 1936., Abt. A. No. 1.
10. W. C. BRODE, Chemical Spectroscopy, 2 edition. New York 1946.
11. G. R. HARRISON, Wavelength Tables with Intensities in Arc, Spark, or discharge Tube.
12. CH. PALACHE-H. BERMAN-C. FRONDEL, Dana's System of Mineralogy, Volume I, New York 1952.
13. CH. S. BARRET, Structure of Metals, second edition, New York—Toronto—London 1952.
14. J. M. BIJVOET-N. H. KOLKMEIJER-C. H. MacGILLAVRY, Röntgenanalyse von Kristallen, Berlin 1940.
15. G. A. HARCOURT, Tables for the identification of ore-minerals by X-ray powder patterns. American Mineralogist 27, 89 (1942.)
16. G. L. JONG-WILLEMS, Zeit. anorg. Chemie, 161, 312 (1927.)
17. D. LUNDQUIST-D. WESTGREN, Zeit. anorg. Chemie, 239, 88 (1938.)
18. H. SCHNEIDERHÖHN, Lehrbuch d. Erzlagerstättenlehre. Teil I. Jena 1941.
19. A. CISSARZ, Übergangslagerstätten innerhalb der intrusiv-magmatischen Abfolge. Teil I: Zinn-, Wolfram- und Molybdänformationen. Neues Jahrbuch für Mineralogie. Beil. — Bd. 56 A, 185—274 (1928.)

⁹ Zahvaljujem prof. dr. L. Mariću, što mi je pregledao rukopis i dao korisne sugestije.

Ivan Jurković

**DAS VORKOMMEN VON NI-LINNEIT (SIEGENIT) UND MILLERIT
IM TURMALINISIERTEM BARYT BEI BRESTOVSKO IM MITTEL-
BOSNISCHEN ERZGEBIRGE**

Zusammenfassung

Ungefähr 1 km W vom Dorfe Brestovsko, 5 km NW vom Kreuzweg Busovača—Kiseljak-Fojnica (Abb. 1 u. 2) befindet sich ein Barytvorkommen. Bisherige Bergbauarbeiten, von kleinem Ausmasse, entdeckten einen Barytgang in einer Länge von 360 m und einige Meter in die Tiefe. Der Gang streicht N 45° W-S 45° O mit einem Einfall nach SW. Seine Mächtigkeit variiert von 10—100 cm mit einem Durchschnitt von 30—40 cm. Der Gang befindet sich in einem sehr veränderten Aktinolit-Epidot-Schiefer desselben Streichens und Einfalls.

Die mikroskopische Analyse (im durchfallenden und reflektierten Licht) ergibt folgende Minerale: Rutil, Turmalin, Aktinolit, Muskovit, Albit, Quarz, Magnetit, Hämatit (Martit), Molibdänglanz, Pyrit, Gold, Ni-Linnet (Siegenit), Millerit, Chlorit, Chalkopyrit, Chalkosin, Bornit, Fahlerz, Baryt als primäre und Chalkosin, Covellin, Cuprit, Tenorit, Kupfer, Limonit, Malachit und Azurit als sekundäre Minerale.

Aus der Tabelle IX (am Ende) sieht man Sukzession, Intensität und Extensität aller Minerale. Von diesen Mineralen sind Rutil, Turmalin, Albit, Martit, Molibdänglanz, Siegenit, Millerit, Chalkosin, Bornit, Covellin, Cuprit, Tenorit und Kupfer zum ersten Mal in der Erzlagerstätten des mittelbosnischen Erzgebirges festgestellt worden und damit wurde eine neue Metallprovinz bestätigt.

Das Vorkommen von Ni-Linnet (Siegenit) von Brestovsko ist das erste festgestellte Vorkommen dieses Minerals in Jugoslawien. Deswegen machen wir alle Resultate der Untersuchungen dieses Minerals, zusammen mit denen über Millerit, bekannt.

Erzmikroskopische Untersuchungen des Ni-Linnetts und des Millerits

Siegenit von Brestovsko poliert sich ausgezeichnet. Die Schleifhärte ist höher als bei Chalkopyrit und Fahlerz, aber viel kleiner als beim Pyrit. Die Talmagehärte ist ebenfalls höher als bei Chalkopyrit und Fahlerz.

Das Reflexionsvermögen ist hoch, crème-weiss mit einem charakteristischen Rosaton. In Öl wird es ein wenig herabgesetzt, aber mit gleichem Farbeindruck.

Kataklase kann man manchmal in Form sehr feiner Risse beobachten. Spaltbarkeit nach (100) sehr selten sichtbar. Bei + Nic. isotrop.

Öfters kann man Entmischungen des Millerits || (100) mit dem Siegenit als feines Netzwerk bemerken. Die Form des Netzwerks und die Zahl der Lamellen ist sehr variabel. Einmal sieht man nur einige kürzere Lamellen (Abb. 7 u. 8), ein anderes Mal einige Zentren von Entmischungen und endlich auch solche Stellen, wo das Netzwerk so dicht ist, dass kein Unterschied zwischen Entmischung und Verdrängung besteht und die Plättchen von Millerit gebildet wurden. Sehr selten bemerkt man einzelne Lamellen und Disken von Chalkopyrit.

Ausser Entmischungen von Millerit bemerkt man sehr oft, wie Millerit den Ni-Linnet || (111) verdrängt. Es entstehen zwei aufeinander senkrecht stehende Systeme von Lamellen verschiedener Länge und Breite. Diese Lamellen umgrenzen kleine rechteckige, den Netzaugen ähnliche, Überreste von Siegenit. Die Breite der Lamellen reicht von 1—10 μ , und die Länge von 50—150 μ . Sehr selten kommen einige La-

mellen von Chalkopyrit vor, öfters sind die breiteren Lamellen von Millerit mit kleinen Tröpfchen oder Disken des Chalkopyrits umsäumt.

Siegenit gehört dem frühen Stadium der sulphidischen Phase wie Molibdänglanz und Pyrit. Er ist älter als Chalkopyrit, Bornit, Chalkosin und Fahlerz, aber jünger als Pyrit. Chalkopyrit verdrängt Siegenit frontal oder längs der Kataklyse (Abb. 10). In grösseren Massen oder Individuen (bis 1 mm) vorkommend ist Siegenit immer mit Chalkopyrit und Millerit, seltener mit Pyrit und Quarz vergesellschaftet. Dagegen in kleineren Massen ($< 50 \mu$) kommt er mit Chalkopyrit, Bornit, Fahlerz, Chalkosin und Millerit zusammen oder allein.

Siegenit zeigt eine bedeutende Neigung zur Idiomorphie: (100, 111) oder deren Kombinationen. Siegenit hat keine Einschlüsse, nur sehr selten enthält er kleinere Massen von Chalkopyrit oder eines unbekanntem idiomorph entwickelten silikatischen Minerals.

Millerit kommt im früheren hydrothermalen Stadium, den Siegenit verdrängend, in Form eines Systems subparalleler feiner Nadeln oder in Form xenomorpher Aggregate, entweder in Form gegeneinander senkrechtstehender Systeme breiterer oder feinerer Lamellen. (Abb. 9). In der Hypergenphase kommt er als feines Entmischungsnetz. || (111) im Siegenit vor.

Millerit poliert sich ausgezeichnet. Die Schleifhärte ist ein wenig kleiner als beim Siegenit, aber höher als beim Chalkopyrit. Das Reflexionsvermögen ist sehr hoch.

Bireflexion und Anisotropieeffekte siehe auf Tabelle I, Seite 280.

Man findet gekrümmte und zerstörte Milleritlamellen und auch Systeme, welche leicht undulös erlöschen.

Weitere Resultate der Untersuchungen des Ni-Linnetts von Brestovsko.

Auf Tabelle II, Seite 283 geben wir gemessene Reflexionsvermögen von Siegenit und einigen anderen Mineralen nach Bereks Spaltnikrometerokularmethode.

Mit Hilfe von Bereks Spezialokular mit elliptischen Analysator haben wir Isotropie und Zugehörigkeit zur kubischen Syngonie des Siegenits bewiesen (Tabelle III, Seite 284).

Es wurde auch eine halbquantitative quarzspektrographische Analyse des Siegenits gemacht. Die Identifizierung der spektralen Linien ergab, dass Co und Ni in gleicher Quantität die Hauptelemente bilden, und ausser ihnen wurden nur kleinere Mengen Cu und Fe vorgefunden. Als Spurenelemente sind Pb, Zn, Ag, Bi und Au (?) vorhanden während Si, Ba, Al und Mg (als Quarz, Baryt und Produkte der Metamorphose des Siegenits) beigemischt sind.

Auf Tabelle IV, Seite 286 geben wir die Bedingungen der Spektralaufnahme und in der Tabelle V, Seite 287 die stärksten Resonanzlinien der gefundenen Elemente.

Die Spektralanalyse ergab (Tabelle VI, Seite 287) dass das Mineral zur Linnetgruppe gehört und dass es Siegenit ist. Die annähernde Formel: $(\text{Ni, Co})_2 \cdot (\text{Ni, Co, Fe, Cu}) \cdot \text{S}_4$.

Die röntgenographische Pulveranalyse des Siegenits, nach der Straumanis Methode, ergab $a_0 = 9,446 \text{ \AA}$. (Abb. 14).

Auf Tabelle VII, Seite 288 geben wir die Bedingungen bei der Röntgenaufnahme und auf Tabelle VIII, Seite 289, die Bewertung des Debyegramms mit d (in Å) — Werte.

Die Erzlagerstätte Brestovsko ist eine typische pneumatolithisch-hydrothermale Übergangslagerstätte. Der Fazieswechsel ist temporal. Ausser den typischen Mineralen der pneumatolithischen Phase (z. B. Turmalin) kommen auch die Minerale der hydrothermalen Phase vom katha — über den meso — bis zum epithermalen Bereich vor (Tabelle IX, am Ende).

Der Anfang der Vererzung fällt in die pneumatolithische Phase mit Zufuhr von B- und F- Dämpfen und superkritischen fluidalen, silikatischen Lösungen mit Ti, Fe, Al, Si, Mg, Ca, K, Na, Li (?). Es entstanden: Rutil, Turmalin, Aktinolit, Albit, Quarz, Magnetit und gleichzeitig tritt eine starke Serizitisierung der Salbänder (Aktinolit-Epidot Schiefer) ein.

Nach einer eingeschalteten tektonischen Phase folgt die Sulphidphase mit Zufuhr von Mo, Fe, Co, Ni, Cu und H₂S. Es entstehen: Pyrit, Molibdänglanz, Siegenit, Millerit, Chalkopyrit, Chalkosin und Bornit. Zu Ende dieser Phase brachten die Thermen sehr wenig Sb (As) für die Fahlerzbildung. In dieser Phase dauert noch immer die Zufuhr von K und dadurch findet eine Serizitisierung des Schiefers und gleichzeitig eine teilweise Silifizierung und Kaolinisierung statt.

Dann kommt es wieder zu einer Unterbrechung der Vererzung und darauf folgt die Hauptphase mit Ba-Zufuhr. So fällt die Bildung des Baryts in die epithermale Phase.

Später (die Supergenphase) werden die primären Minerale durch die Prozesse der Oxydation und Zementation in sekundäre Minerale verwandelt (Tabelle IX, am Ende) und es geschehen weiter physikalische und chemische Veränderungen in den Salbändern.

Der Barytgang wurde tektonisch sehr stark beansprucht. Erstens eine starke Regelung von Turmalin, Pyrit, Quarz, Muskovit parallel den Salbändern. Danach eine sehr starke Kataklasierung der unplastischen Minerale: des Magnetits, des Pyrits, des Quarzes (im durchfallendem Licht sieht man sehr intensive undulöse Auslöschungen am Quarz). Nach unserer Meinung kann man Zerfallstrukturen von Chalkopyrit und Bornit, und isometrische, kleinkörnige allotriomorphe Strukturen des Baryts als Rekristallisationserscheinungen unter den tektonischen Einflüssen auf diese plastischen Erzminerale betrachten.

Zagreb, Januar 1954.

Mineralogisch-geologisches Institut der technischen Fakultät in Zagreb