

UDK 553.43:552.3(497.11)=863

## Prispevek k poznavanju rudnih klastov iz rudnega telesa Novo okno v bakrovem rudišču Bor

### Contribution to the Knowledge of the Ore Clasts from the Novo okno Orebody in the Bor Copper Deposit

*Matija Drovenik*

Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo Univerze v Ljubljani, Aškerčeva 12, 61000 Ljubljana

#### Kratka vsebina

V bakrovem rudišču Bor, vzhodna Srbija, so v hidrotermalno spremenjeni conit, ki leži v zgornjekrednih andezitih in andezitskih piroklastitih, metasomatska in žilno impregnacijska rudna telesa. Ob južnem delu te cone je v zgornjekrednih andezitskih piroklastitih lečasto rudno telo Novo okno. Poleg različnih andezitskih vsebuje tudi rudne klaste, ki jih je sočasno izvrgla vulkanska erupcija. V njegovem srednjem delu grade klaste predvsem pirit, rombični halkozin in covellin. Obdaja ga ruda, katere klasti so pogosto conarno zgrajeni in vsebujejo poleg pirita zlasti bornit in halkopirit, toda v večjih razdaljah pa le halkopirit. Raziskava je pokazala, da je nastala conarna tekstura omenjenih klastov med diagenezo ter da sta bornit in halkopirit diagenetska minerala.

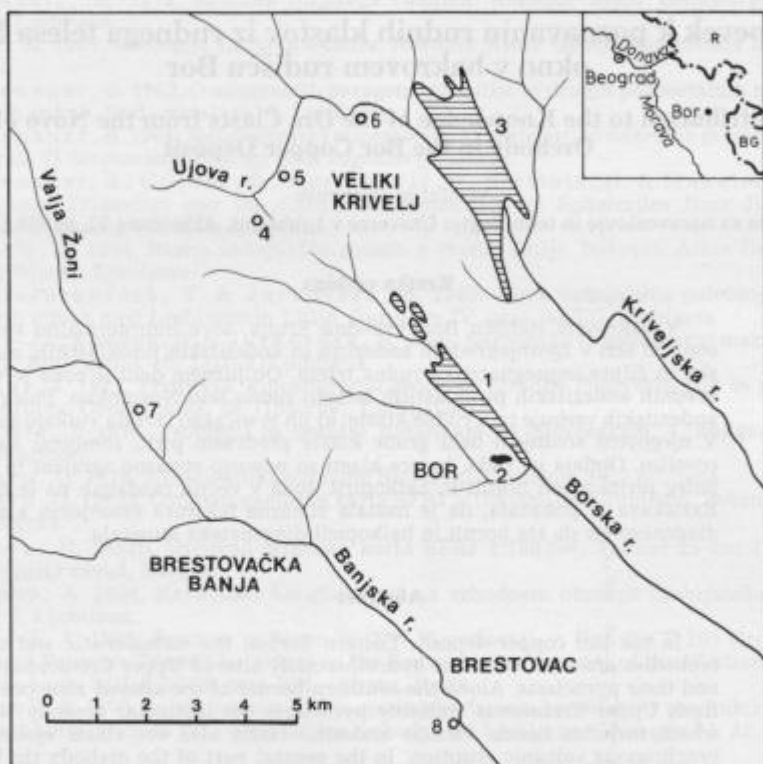
#### Abstract

In the Bor copper deposit, Eastern Serbia, the metasomatic and stockwork orebodies are situated in the hydrothermally altered Upper Cretaceous andesites and their pyroclasts. Along the southern border of the altered zone occurs in the fresh Upper Cretaceous andesitic pyroclasts the lenticular orebody Novo okno which includes beside various andesitic clasts also ore clasts ejected by the synchronous volcanic eruption. In the central part of the orebody the ore clasts include predominantly pyrite, rhombic chalcocite and covellite. The central part is surrounded by the ore in which the ore clasts show very often concentric internal structure. They contain in addition to pyrite particularly bornite, as well as chalcopyrite, and at greater distances only chalcopyrite. The author considers that the concentric internal structure of the mentioned clasts originated during the diagenesis, and that both bornite and chalcopyrite are of diagenetic origin.

#### Uvod

Bakrovo rudišče Bor je zaživel leta 1903, ko je rudarski inženir Franjo Šistek z raziskovalnim rovom našel prvo rudno telo. Po hribčku, pod katerim leži, so ga imenovali rudno telo Čoka Dulkan. Od takrat do danes, torej celih 90 let, v Boru nenehno kopljejo bakrovo rudo.

Do sedaj so našli v tem svetovno znanem rudišču okrog dvajset zelo velikih, velikih pa tudi sorazmerno manjših rudnih teles. Intenzivnost raziskav ni bila vseskozi enakomerna, temveč se je od časa do časa spreminjala. Bila so obdobja, ko so jih omejevali zaradi splošnih neugodnih gospodarskopoličnih razlogov, na primer med 1. in med 2. svetovno vojno, pa tudi zato, kar se je strategija raziskav bakrovih rudišč v vzhodni Srbiji spreminjala in so občasno posvečali večjo pozornost rudiščem v širši okolici Bora kot v borskem rudišču samem. Toda kadar so rudne zaloge nevarno »skopnele«, so v njem raziskave okrepili in tudi našli nova rudna telesa.



Sl. 1. Situacijska karta bakrovega rudišča Bor in njegove okolice  
 1 hidrotermalno spremenjena cona Bora z metasomatskimi in žiljno-impregnacijskimi rudnimi telesi; 2 rudno telo Novo okno; 3 hidrotermalno spremenjena cona Velikega Krivelja s porfirskim bakrovim rudiščem. Nahajališča rudnih klastov v okolici Bora; 4 severno pobočje Čoka Bare; 5 dolina Ujove reke; 6 severno pobočje Kriveljskega kamna; 7 kanal NW od Brestovačke banje; 8 kamnolom SE od Brestovca

Fig. 1. Location map of the Bor copper deposit and surroundings  
 1 hydrothermally altered zone of Bor with metasomatic and stockwork orebodies; 2 Novo okno orebody; 3 hydrothermally altered zone of Veliki Krivelj with the porphyry copper ore deposit. Location of ore clasts in surroundings of Bor; 4 northern slope of Čoka Bare hill; 5 Ujova reka valley; 6 eastern slope of Kriveljski kamen hill; 7 ditch NW from Brestovačka banja; 8 quarry SE of Brestovac

Takšne razmere so bile tudi v začetku sedemdesetih let. Rudarsko topilniški bazen Bor je v petdesetih in šestdesetih letih vlagal velika finančna sredstva v raziskave drugih območij, zlasti v raziskave nanovo odkritega bakrovega rudišča Veliki Kriovelj; manj sredstev pa je namenjal za raziskave v borskem rudišču. Zato so začele rudne zaloge postopoma usihati.

Da bi razmere popravili, je bil junija 1973 v Boru večdnevni sestanek, na katerem so poleg borskih geologov sodelovali tudi nekateri drugi poznavalci tega rudišča. Na njem je bila poudarjena perspektivnost tistih območij borske hidrotermalno spremenjene cone, ki se širijo od znanih rudnih teles proti severozahodu in proti jugovzhodu. V osnovnih potezah je bila izdelana tudi strategija raziskav za naslednja leta. V obdobju od 1974–1983 so nato v omenjenih območjih resnično našli več novih rudnih teles, tako na primer v severozahodnem območju rudno telo Borska reka, v jugovzhodnem rudno telo H in rudno telo Borski potok v neposredni bližini novega jaška pa še rudno telo Novo okno (okno, slov. jašek).

V borskem rudišču so z izjemo rudnega telesa Novo okno metasomatska in žilno-impregnacijska rudna telesa v obsežni, več kilometrov dolgi hidrotermalno spremenjeni coni (sl. 1). Rudonosne raztopine so ob Borskem prelomu spremenile in orude-nele zgornjekredne andezite in njihove piroklastične kamnine. Osnovne spremembe so piritizacija, okremenitev, kaolinizacija, alunitizacija, sericitizacija in kloritizacija. Rudno telo Novo okno je ob južnem delu omenjene hidrotermalno spremenjene cone (sl. 1). Leži v zgornjekrednih andezitskih piroklastitih, ki praktično ne kažejo omenjenih sprememb. Grade ga rudni klasti in klasti različnih andezitov. V tem primeru gre brez dvoma za rudno telo, ki je povezano z zgornjekredno vulkansko aktivnostjo – rudne in andezitske klaste je namreč izvrгла vulkanska erupcija.

Rudni klasti iz Novega okna se po mineralni sestavi v neki meri razlikujejo od rudnih klastov, ki smo jih našli v andezitskih piroklastičnih kamninah širše okolice rudnika Bor (Drovenik, 1961, 1966), imajo pa podobno mineralno sestavo kot bakrova ruda v rudnih telesih borskega rudišča. Lociranost rudnega telesa Novo okno v neposredni bližini drugih rudnih teles in podobnost v mineralni sestavi nudita na prvi pogled razlago, da je nastalo rudno telo, ki leži v nespremenjenih andezitskih piroklastitih, sočasno kot rudna telesa v hidrotermalno spremenjeni coni in da je v neposredni genetski zvezi z njimi. Toda proti takšni razlagi govorijo številni drugi podatki, ki jih bomo razložili ob drugi priliki.

V okviru pričujočega prispevka nas zanimajo le nekatere značilnosti rudnih klastov iz rudnega telesa Novo okno. Toda preden jih bomo razložili, poglejmo, kaj vemo o tovrstnih rudnih klastih, ki smo jih našli v andezitskih vulkanskih brečah širše okolice rudnika Bor. Pri popestritvi besedila sta mi pomagala Vlado Segalla z barvnimi fotografijami, Ciril Gantar pa z rudnomikroskopskimi slikami. Obema se za njuno pomoč iskreno zahvaljujem.

### **Značilnosti in izvor rudnih klastov v zgornjekrednih andezitskih piroklastitih širše okolice rudnika Bor**

V vulkanskih brečah 1. in mlajše, 2. vulkanske faze (Drovenik, 1961, 1966, 1968), smo do 1966 leta našli približno 100 rudnih klastov z bakrovimi sulfidi. Številne je vsaj deloma prekrivala skorja limonita in malahita. Bili so bolj ali manj okrogli ali vsaj zaobljeni. Veliki so bili sicer od 1 cm do 30 cm, toda zvečine so merili le od 2 do 6 cm. Okrog 40 smo jih natančno raziskali (Drovenik, 1966).

V vulkanskih brečah 1. vulkanske faze je njihovo najbolj zanimivo nahajališče na severnem pobočju Čoka Bare, majhnega hribočka, ki leži 4,5 km severozahodno od Bora (sl. 1). Del klastov smo našli »in situ« v vulkanski breči rogovačno-biotitnega andezita – ležali so v pasu, ki je bil dolg okrog 400 m in širok približno 100 m. Toda številni so se pri preperevanju izluščili iz vulkanske breče in so ležali v grapah, ki sečejo severno pobočje Čoka Bare. Rudne klaste smo našli še v vulkanski breči rogovačnega andezita v dolini Ujove reke (sl. 1) in v vulkanski breči rogovačno-biotitnega andezita z vzhodnega pobočja Kriveljskega kamna (sl. 1). Jugovzhodno od tod je hidrotermalno spremenjena cona v prav tako zgornjekrednih piroklastitih, v kateri je veliko bakrovo rudišče porfirskega tipa Veliki Krivelj (sl. 1).

V brečah 2. vulkanske faze s klasti piroksenovo-rogovačnega, piroksenovega in rogovačnega andezita smo naleteli na večji rudni klast pri kopanju kanala za dotok vode iz akumulacijskega jezera severozahodno od Brestovačke banje v Bor (sl. 1), nekaj tovrstnih klastov pa smo nabrali v majhnem kamnolomu, oddaljenem 1,5 km od vasi Brestovac (sl. 1).

Pri nadrobni raziskavi sem ločil sulfidne klaste, v katerih ni bilo znakov metasomatskega nadomeščanja andezita z rudnimi minerali ter andezitske klaste s sulfidnimi impregnacijami. V sulfidnih klastih z območja Čoka Bare doseže vsebina bakra 48 %. Prvotni rudni minerali so nastali v naslednjem zaporedju: pirit, hematit, halkopirit, bornit + samorodno zlato, digenit in halkozin. V nekaterih klastih prevladujeta bornit in halkozin, v drugih bornit in halkopirit. Samorodno zlato v zrnih s premeri do 20  $\mu\text{m}$  je v bornitskih, digenitskih in halkozinskih poljih. Sulfidni klast z 42,61 % Cu je vseboval 105,6 g/t Au in 544,8 g/t Ag. V sulfidnem klastu s severnega pobočja Kriveljskega kamna sem našel le halkozin, bornit in hematit. Podobno sestavo je imel tudi klast iz kanala pri Brestovački banji. Za klaste iz majhnega kamnoloma pri vasi Brestovac pa je značilno, da vsebujejo predvsem kolomorfnj pirit, medtem ko so bakrovi minerali zastopani s halkopiritom in bornitom. Slednji vsebuje do 15  $\mu\text{m}$  velika zrnca samorodnega zlata.

Andezitske klaste s sulfidnimi impregnacijami smo našli tako na območju Čoka Bare kakor tudi v dolini Ujove reke. Klasti so v večji ali manjši meri albitizirani, kaolinizirani in prenitizirani, vsebujejo pa tudi epidot. V spremenljivih količinah so prisotni bornit, digenit in halkozin; le malo je pirita in hematita. Analiza štirih vzorcev je pokazala, da vsebujejo povprečno 2,7 % Cu, 15 g/t Au in 0,5 g/t Ag.

Upoštevajoč geološko zgradbo krajev, kjer smo našli rudne klaste, njihovo obogatitev z bakrom kakor tudi ugotovljene hidrotermalne spremembe v orudenih andezitskih klastih, smo sklepali (Drovenik, 1966), da najverjetneje predstavljajo dele bakrovih rudnih žil in njihove nekoliko spremenjene in slabo orudene prikamnine. Rudne žile so nastale za časa zgornjekrednega vulkanizma. Bile so lokalne, bogate tvorbe, verjetno neke vrste »bonance«, ki jih je uničila mlajša vulkanska aktivnost. Skupaj z različnimi andezitskimi klasti so se pri tem znašli tudi rudni klasti v piroklastičnih kamninah. Tako je bil podan dokaz, da se je začelo bakrovo orudenje v timoškem eruptivnem območju že med zgornjekrednim magmatizmom. V tem obdobju in na podoben način je nastalo v Boru rudno telo Novo okno, ki ga v svoji disertaciji nadrobno popisuje Mišković (1989).

### Osnovni podatki o rudnem telesu Novo okno

Sistematične raziskave z globinskim vrtnjem s površja ter z jamskimi deli so pokazale, da leži ob novem jašku, blizu borske hidrotermalno spremenjene cone, z metasomatskimi in žiljno-impregnacijskimi rudnimi telesi nenavadno, toda ekonomsko pomembno rudno telo Novo okno, kakršno do tedaj ni bilo znano niti v Boru niti drugje v timoškem eruptivnem območju (sl. 1).

Medtem ko kaže geološka karta tega dela borskega rudišča na površju piroklastične kamnine rogovačno biotitnega andezita (Drovenik, 1968), so v globini po podatkih Miškovića (1989) predvsem vulkanski aglomerati rogovačnega andezita. V njih leže štiri pelitske serije, ki jih je Mišković od spodaj navzgor označil z rimskimi številkami od I. do IV. Rudno telo je vezano za spodnjo, I. pelitsko serijo (sl. 2A). Nastalo naj bi v plitki depresiji na pobočju vulkana. Njeno dno je danes okrog 320 m pod površjem, medtem ko se rudno telo razteza po višini od +35,3 m do +110 m. Generalno leži v smeri vzhod-zahod in je dolgo okrog 470 m. Povprečno je široko 100 do 120 m, le v zahodnem delu doseže njegova širina okrog 200 m.

Presek v smeri vzhod-zahod kaže, da ima rudno telo obliko sploščene leče (sl. 2A). V njegovi talnini so v zahodnem delu rudišča sivi in rdeči laporasti peliti (I. pelitska serija), ki se raztezajo v smeri vzhod-zahod v dolžini okrog 300 m. Na njih leže andezitski tufi s pirinimi zrni in najbolj zahodno drobnorzate breče rogovačnega andezita, ki vsebujejo fragmente in zrna pirita, podrejeno tudi halkopirita. Rudno telo gradi najprej delno prekinjena plast breče rogovačnega andezita z rudnimi klasti mineralne asociacije B, kot jih imenuje Mišković (v nadaljevanju: rudni klasti B). Sledi plast rudne breče (rogovačno) biotitnega andezita, podrejeno tudi rogovačnega andezita z rudnimi klasti mineralne asociacije A (v nadaljevanju: rudni klasti A), v manjši meri tudi z rudnimi klasti B. To prekriva plast breče rogovačnega andezita z rudnimi klasti B. Lokalno leži na omenjeni plasti argilitizirani andezit, ki vsebuje tudi drobnorzate breče rogovačnega andezita ter fragmente pirita in halkopirita. Večje površine pripadajo plasti drobnorzate breče rogovačnega andezita s fragmenti in zrni pirita ter podrejeno tudi halkopirita, na kateri je ponekod plast andezitskih tufov s pirinimi zrni.

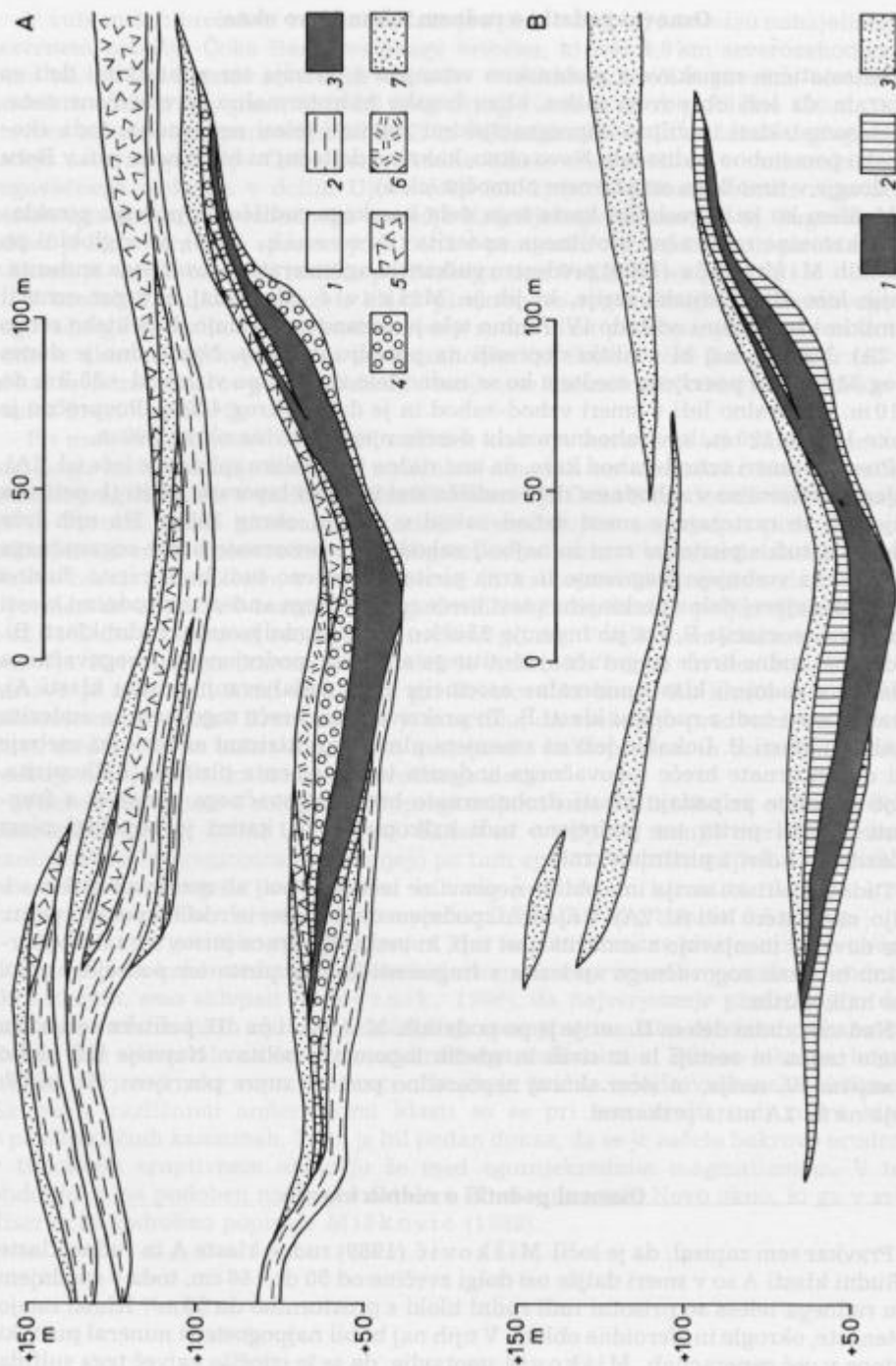
Tudi II. pelitska serija ima obliko nepravilne leče in je bolj ali manj vzporedna s I. serijo, nad katero leži (sl. 2A). V njenem spodnjem delu so sivi in rdeči laporasti peliti. Ti se navzgor menjavajo z andezitskimi tufi, ki vsebujejo zrnca pirita ter z drobnorzatimi brečami rogovačnega andezita s fragmenti in zrni pirita ter podrejeno prav tako halkopirita.

Nad vzhodnim delom II. serije je po podatkih Miškovića III. pelitska serija. Ta je zelo tanka in sestoji le iz sivih in rdečih laporastih pelitov. Najvišje leži slabo ohranjena IV. serija, in sicer skoraj neposredno pod sedanjim površjem. III. in IV. serija na sl. 2A nista prikazani.

### Osnovni podatki o rudnih klastih

Pravkar sem zapisal, da je ločil Mišković (1989) rudne klaste A in rudne klaste B. Rudni klasti A so v smeri daljše osi dolgi zvečine od 50 do 150 cm, toda v spodnjem delu rudnega telesa so prisotni tudi rudni bloki s prostornino do 50 m<sup>3</sup>! Klasti imajo vretenaste, okrogle in sferoidne oblike. V njih naj bi bil najpogostejši mineral pirit, ki nastopa v več generacijah. Mišković ugotavlja, da se je izločilo največ tega sulfida





iz koloidnih raztopin. Spremljajo ga predvsem covellin, halkozin in digenit. V manjših in v podrejenih količinah so prisotni še markazit, enargit, luzonit, tetraedrit, tennantit, elektrum, galenit, sfalerit, bornit in halkopirit. Značilno je, da naj bi ti klasti prav tako vsebovali samorodno zlato, in to v razmeroma velikih količinah. Ruda tega dela rudnega telesa vsebuje 9 g/t Au in 5,6 g/t Ag (Mišković, 1989). Jalovinski minerali so zastopani z baritom, s kalcitom in s sadro. Nekateri bloki in klasti vsebujejo od 5 do 60 mm, izjemoma tudi več kot 15 cm velike geode s kristali rudnih in jalovinskih mineralov.

Za rudne klaste B navaja Mišković (1989), da imajo zvečine sferoidne ali slabo izražene vretenaste oblike ter da so polzaobljeni in zaobljeni. Njihov premer se giblje navadno od 5 do 20 cm. Praviloma vsebujejo več bornita in halkopirita kot halkozina in pirita. Toda v posameznih klastih je lahko razmerje med navedenimi minerali različno. V manjših količinah in v sledovih vsebujejo ti klasti po Miškoviću (1989) še markazit, luzonit, enargit, tennantit, galenit in digenit. Tudi v njih je sorazmerno precej zrnca samorodnega zlata. Jalovinski minerali so barit, kremen in kalcit.

V primeru s klasti A so klasti B pogosto conarno zgrajeni. Mišković (1989) je ugotovil, da je njihova conarnost različno izražena in praviloma odvisna od njihove velikosti: večji so, bolj je conarnost izražena in pestrejša je njihova mineralna sestava. V klastih s premeri nad 10 cm sta izmed bakrovih mineralov v njihovih jedrih predvsem halkozin in bornit. Sledita lupina iz bornita in skorja iz halkopirita. Klasti, ki merijo od 1 cm do 10 cm, imajo navadno jedro iz bornita in skorjo iz halkopirita. Tiste s premeri pod 1 cm ter sulfidna zrnca gradi med bakrovimi minerali skorajda le halkopirit.

Upoštevajoč razvrstitev glavnih bakrovih rudnih mineralov, lahko ugotovimo tudi v rudnem telesu Novo okno določeno conarnost. V njegovem jedru sta najpogo-

Sl. 2A. Vzdolžni geološki presek rudnega telesa Novo okno. (Poenostavljeno po Miškoviću, 1989) 1 vulkanski aglomerati rogovačnega andezita; pod I pelitsko serijo prevladujejo njegovi izlivi; 2 I in II serija sivih in rdečih laporastih pelitov; 3 breče (rogovačno) biotitnega andezita, redko tudi rogovačnega andezita z rudnimi klasti A in podrejeno tudi z rudnimi klasti B; 4 breča rogovačnega andezita z rudnimi klasti B; 5 drobnozrnate breče rogovačnega andezita s fragmenti in zrni pirita ter podrejeno tudi halkopirita; 6 argilitizirani andezit, ki vsebuje tu in tam drobnozrnate breče rogovačnega andezita ter drobce pirita in halkopirita; 7 andezitski tufi s pirinimi zrni

Fig. 2A. Longitudinal geologic cross-section of the Novo okno orebody. (Simplified after Mišković, 1989)

1 volcanic agglomerates of hornblende andesite; below pelitic series I its flows predominate; 2 series I and II of grey and red marly pelites; 3 breccias of (hornblende) biotite andesite, rarely also of hornblende andesite with ore clasts A, and subordinately with ore clasts B; 4 hornblende andesite breccia with ore clasts B; 5 fine-grained hornblende andesite breccias with fragments and grains of pyrite and subordinately chalcocopyrite; 6 argillitized andesite containing here and there fine-grained hornblende andesite breccias, as well as small fragments of pyrite and chalcocopyrite; 7 andesitic tuff with pyrite grains

Sl. 2B. Razvrstitev glavnih bakrovih rudnih mineralov v vzdolžnem preseku rudnega telesa Novo okno

1 rombični halkozin, »lamelarni halkozin«, digenit, covellin; 2 bornit in halkopirit; 3 halkopirit

Fig. 2B. Distribution of main copper minerals in the longitudinal cross-section of the Novo okno orebody

1 rhombic chalcocite, "lamellar chalcocite", digenite and covellite; 2 bornite and chalcocopyrite; 3 chalcocopyrite

stejša halkozin in covellin (sl. 2B). V njegovi neposredni talnini in krovlini prevladujeta bornit in halkopirit, v večjih razdaljah od jedra pa je najbolj pogosten, če ne že kar edini bakrov mineral halkopirit.

### Značilnosti mineralne sestave in nastanek conarne zgradbe v klastih B

Rudni klasti A so po svoji zgradbi in izgledu »normalni«, torej takšni, kot lahko pričakujemo da nastanejo, če vulkanska erupcija dezintegrira in izvrže bloke, kose in koščke piritno-bakrovega rudnega telesa, ki je nastalo v vulkanskem aparatu ali ob njem.

Nenavadni pa sta conarna zgradba in diferencirana razvrstitev glavnih bakrovih mineralov v klastih B. Poznavalcu bakrovih rud se namreč neizbežno porodi vprašanje, kdaj je conarna zgradba nastala in kaj je ustvarilo ugodne možnosti za omenjeno diferencirano razvrstitev glavnih bakrovih rudnih mineralov. O conarni zgradbi dela rudnih klastov iz rudnega telesa Novo okno so mi pripovedovali, ko sem bil leta 1984 na obisku v Boru, vendar sta bila njen nastanek in nenavadna razvrstitev bakrovih sulfidov za kolege, s katerimi sem govoril, gananka. Tudi zame so bili tovrstni klasti nekaj novega, saj takšnih v zgornjekrednih andezitskih piroklastičnih kamninah širše okolice Bora nisem našel. Poleg drugih vzorcev iz tega rudnega telesa sem nabral tudi nekaj klastov s conarno zgradbo oziroma nekaj njihovih kosov in jih že pred leti pregledal pod rudnim mikroskopom. Rezultatov takratnih raziskav nisem objavil, ker sem pričakoval, da bo njihove značilnosti in genezo razložil v svoji disertaciji kolega Miškovič. Vendar tega ni storil.

Tudi v dosegljivi tuji literaturi nisem našel podatkov o tovrstnih klastih. Pravzaprav v njej prav tako nisem zasledil opisa rudišča ali rudnega telesa, ki bi bilo nastalo tako, da bi se bili v njem v ekonomskih količinah akumulirali rudni klasti, ki bi prvotno predstavljali dele rudnega telesa, katero naj bi bilo v vulkanskem aparatu ali ob njem, pa ga je mlajša erupcija dezintegrirala.

Sicer pa so najbolj znani primeri rudnih klastov v piroklastičnih kamninah vezani na vulkanogena masivna sulfidna rudišča tipa »kuroko«. Največ jih je na Japonskem, našli pa so jih tudi marsikje drugje po svetu. Nastanek tovrstnih klastov in njihovo mineralno sestavo opisujejo predvsem številni japonski raziskovalci. Ti so enotni v mnenju, da so nastali pri dezintegraciji rudnih plasti. Kakršno mineralno sestavo je imela rudna plast, takšno imajo tudi rudni klasti v njeni bližini. Marsikje so se zbrali v ekonomskih količinah. V primeru rudišča Furutobe piše Kuroda (1983) o »moved ore deposits«. Tu sestojijo rudni klasti iz tako imenovane »rumene rude« (»yellow ore«), ki vsebuje predvsem halkopirit in pirit, ter iz »črne rude« (»black ore«), ki jo gradijo zlasti sfalerit, galenit in halkopirit. Drugod, npr. v rudišču Ezuri (Yui & Ishitoya, 1983), so klasti »rumene rude« v plasti »črne rude«. V obeh rudiščih raziskovalci ne omenjajo niti conarne zgradbe klastov niti diferencirane razvrstitve rudnih mineralov v njih. S tem v zvezi je zanimiva ugotovitev Hashiguchija (1983), da vsebuje prenesena ruda (»transported type ore«) v rudišču Kosaka poleg klastov »rumene rude« tudi dve vrsti klastov »črne rude«. Prva obsega klaste, katerih oblika ni odvisna od njihove notranje zgradbe. V drugi pa so zaobljeni in polzaobljeni klasti s conarno zgradbo: zunanji del klastov je drobnozrnat in kompakten, jedro pa je debelozrnat in porozno. Vendar mehanizma nastanka in njihove koncentrične zgradbe še niso razložili. Prav tako v razpravi Hashiguchija ni podatkov o morebitni diferencirani razvrstitvi rudnih mineralov.



Tudi v znanem polimetalnem vulkanogenem masivno sulfidnem rudišču Buchans, Nova Fundlandija v Kanadi, je prišlo (Thurlow et al. 1975; Sawkins, 1984) do dezintegracije rudnih plasti, tako da so nastale na drugotnih krajih rude z brečasto teksturo («transported breccia type ore»). Vendar ni podatkov o tem, da bi rudni klasti kazali conarno zgradbo ali kakršnokoli diferencirano razvrstitev rudnih mineralov.

Ker predstavljajo, po vsem sodeč, klasti B iz rudnega telesa Novo okno zelo zanimiv in po svoje prav gotovo nenavaden naravni fenomen, sem potem, ko sem Miškovičevu disertacijo prebral, nadaljeval z raziskavami. Med drugim sem proučil tudi nekaj rudnih klastov B, katere je s seboj prinesla kolegica Heda Hočevnar, ki je bila kot študentka na praksi v Boru. Za to, da mi jih je prepustila v proučevanje, se ji iskreno zahvaljujem.

Od večjih rudnih klastov B, to je takšnih z makroskopsko opazno halkozinsko-bornitno-halkopiritno mineralno združbo, sem proučil le njihove posamezne dele, vendar ti lepo kažejo halkozinsko jedro, bornitno lupino in halkopiritno skorjo (tabla 1, sl. 1 in 2). Nekoliko manjši bornitno-halkopiritni klasti vsebujejo v jedru bornit, kateremu se postopoma v večji ali v manjši meri pridružuje halkopirit, medtem ko vsebuje skorja izmed bakrovih sulfidov le halkopirit (tabla 1, sl. 3; tabla 2, sl. 1 in 2).

Klaste s premeri pod dvema centimetroma ter sulfidna zrna gradi od bakrovih sulfidov praktično le halkopirit (tabla 2, sl. 3).

Mikroskopska raziskava rudnih klastov iz rudnega telesa Novo okno je pokazala, da moramo iskati odgovore na vprašanja, ki nam jih zastavljajo rudni klasti B, tako v prvotni mineralni sestavi rude kot tudi v njeni kasnejši preobrazbi. Če upoštevamo vse vzorce, ki izvirajo iz rudnega telesa Novo okno, potem moramo zapisati, da je v njih najstarejši sulfid covellin. Ta bakrov mineral je zvečine drobnozrnat, bolje rečeno drobnolističast. Debelina njegovih lističev se namreč navadno giblje od 10 do 50  $\mu\text{m}$ , v dolžino pa merijo zvečine od 50  $\mu\text{m}$  do več milimetrov. Tu in tam vsebujejo klasti tudi debelejšje in daljše covellinske lističe, ki pa ne presežejo velikosti 1 cm.

V nekaterih kosih rude oziroma v njihovih delih gre za jedrnat, skoraj monomineralni covellinski agregat. Pod mikroskopom ločimo posamezne preseke njegovih lističev zaradi njihovega močnega odsevnega pleohroizma ter zaradi izrazitih efektov anizotropnosti. V nekaterih primerih se covellinski lističi nepravilno preraščajo, pri čemer tvorijo večji lističi ogrodje, v katerem so kristalizirali mlajši, ki so nekoliko manjši. V drugih primerih leže covellinski lističi med seboj bolj ali manj vzporedno, tako da se kaže struktura, ki je podobna traheidni v tangencialnem rezu iglavcev. Tu in tam se kaže tudi pahljačasta struktura. V vseh teh primerih so pore med covellinskimi lističi zvečine zelo majhne in razmeroma tudi maloštevilne. Posamezne covellinske lističe omejujejo bolj ali manj lepo razvite, ravne ploskve baznega pinakoida (0001), toda zelo često manjkajo ploskve bipiramide (10 $\bar{1}$ 1).

Pri kristalizaciji iz rudonosne raztopine je nastal ponekod nekoliko bolj porozen covellinski agregat. Neenakomerno razvrščene, nepravilne pore, zajete med covellinskimi lističi, dosežejo velikosti od 1 do 2 mm. V tovrstni rudi pogosto opazimo lepo razvite covellinske lističe, ki imajo razločno opazne tudi ploskve bipiramide. Lističi so ravni, pa tudi upognjeni. V porah so pogosto kristalizirali mlajši minerali; med jalovinskimi moramo omeniti zlasti kremen (tabla 3, sl. 1), med rudnimi pa predvsem pirit (tabla 3, sl. 2).

Covellinska ruda vsebuje tu in tam med seboj vzporedne, do nekaj milimetrov debele »lamine« drobnozrnatega pirita. Pri kristalizaciji covellina so bila namreč obdobja z manj številnimi kristalizacijskimi centri, tako da je najprej nastala do

nekaj milimetrov debela, porozna covellinska »lamina«; v porah je nato kristaliziral pirit, katerega je sedaj več kot covellina, tako da gre za piritno »lamino«. Zaradi kasnejših pritiskov so covellinski lističi marsikje nekoliko nagubani, pa tudi zgnetenjeni, tako da kažejo značilne deformacijske lamele. Pri tem so bile nagubane tudi piritne »lamine«.

Bolj pogostna kot monomineralna covellinska je polimineralna ruda, ki vsebuje poleg covellina predvsem pirit. V nekaterih primerih gre za covellinsko-piritno, v drugih za piritno-covellinsko rudo. V obeh vrstah rude so v manjših količinah oziroma v sledovih prisotni predvsem enargit, luzonit, sfalerit in tennantit; vsi razen slednjega so starejši od piritu. Jalovinski minerali so zastopani zlasti s kremenom in kalcitom. Za naše nadaljnje razglabljanje je najbolj zanimivo strukturno razmerje med covellinom in piritom, ki je nastal pretežno iz ionskih raztopin. Pri tem je covellin vselej starejši od piritu, ne glede na to, da gre ali za sorazmerno večje covellinske lističe ali pa so ti zelo majhni. Tudi količina enega ali drugega na starostno razmerje ne vpliva. Ponekod je piritna razmeroma malo in sestavlja le tanke skorje ob starejših covellinskih lističih (tabla 3, sl. 3). Drugod pirit močno prevladuje, tako da starejši covellinski lističi dobesedno »plavajo« v njem (tabla 4, sl. 1). Marsikje pa se pirit in covellin približno v enakih količinah združujeta v zelo drobnozrnato osnovo, v kateri merijo covellinski lističi v povprečju komaj 20–30  $\mu\text{m}$ , vendar so številni razločno idiomorfni nasproti mlajšemu piritu (tabla 4, sl. 2). Manjši del piritu je nastal iz koloidne raztopine. Ta je imela najprej kompleksno sestavo, saj so se iz nje izkosmičila tako piritna kot covellinska zrnca, katerih premeri so manjši od 0,5  $\mu\text{m}$  (tabla 4, sl. 3), nato pa enostavno, tako da so nastale značilne kolomorfne piritne strukture, med njimi koncentrična in skorjasta (tabla 4, sl. 3). Raztopine, iz katerih so kristalizirali mlajši minerali, covellinskih lističev ponekod niso korodirale in so le-ti lepo ohranjeni. Drugod je prišlo do intenzivnejšega nadomeščanja, tako da se piritna zrna vraščajo v covellinske lističe ali pa so ti deloma oziroma povsem nadomeščeni s tennantitom (tabla 5, sl. 1) ali s kremenom.

Nikakršnih dokazov ni, da bi nastajala covellinska, covellinsko-piritna ali piritno-covellinska ruda pri metasomatskih procesih na račun andezita ali njegovih piroklastičnih kamnin. Vsekakor pod mikroskopom ni opaziti reliktnih struktur rogovače ali biotita, kakršne zasledimo v metasomatskih bakrovih rudah borskega rudišča.

V nadaljnjem razvoju orudenja sta pri metasomatskih procesih na račun covellinske, covellinsko-piritne in piritno-covellinske rude nastala halkozin in digenit. Jedra ruda je v takšnem primeru zelo drobnozrnata in jekleno sive barve, včasih z rahlim modrikastim odtenkom. Kolikšen del prvotne rude so ti procesi zajeli na osnovi materiala, s katerim razpolagam, ni mogoče oceniti. Lahko pa zapišem, da je po makroskopskem videzu covellin v njej skoraj povsem spremenjen v halkozin in digenit. Ta dva minerala sta sicer prisotna v spremenljivih količinah, toda v treh vzorcih jedre, drobnozrnate jekleno sive rude, ki jih je rentgensko analizirala kolegica Meta Bole, za kar se ji lepo zahvaljujem, je rombični halkozin precej pogostnejši kot digenit.

Omenjene tri vzorce je preiskala z rentgenskim difraktometrom Phillips z žarki Cu Ka ( $\lambda = 0,15418\text{nm}$ ), pri napetosti 40 kV in pri toku 20 mA ob uporabi Ni filtra, grafitnega monokromatorja in proporcionalnega števca v kotnem območju  $2\Theta = 60^\circ - 20^\circ$ . Hitrost goniometra je znašala  $2^\circ/\text{min}$ , hitrost papirja pa 20 mm/min. Obseg zapisa je bil  $2 \times 10^3$  udarcev na sekundo pri časovni konstanti 4. Preiskava je pokazala, da ustrezajo d vrednosti rombičnega halkozina vrednostim, ki jih podajata za ta

mineral Berry & Thompson (1962) iz različnih nahajališč Mehike, Aljaske in Montane. Za rombični halkozin so značilni zlasti odboji za  $d$  1,87 Å (10), 1,96 Å (8), 2,39 Å (7) in 1,69 Å (4). Najmočnejši ugotovljeni odboj digenita za  $d$  1,96 Å (10) sovpada s halkozinovim, tako da lahko sklepamo na njegovo prisotnost iz razmerja halkozinovitih odbojev za  $d$  1,87 Å in 1,96 Å. Vsekakor potrjujejo prisotnost digenita odboji za  $d$  2,79 Å (4), 3,21 Å (4) in za  $d$  1,68 Å (3), ki ne sovpadajo z odboji rombičnega halkozina ali drugih mineralov. Rentgenska analiza je namreč pokazala, da vsebujejo omenjeni trije vzorci še pirit, covellin, enargit in halkopirit, vendar v manjših ali podrejenih količinah. V sledovih je prisoten tudi sfalerit (stanin ?).

Na enem izmed kosov jedre halkozinske rude sem našel skoraj iz halkozinovitih kristalčkov. Gre za zraščence psevdoheksagonalnih trojčkov ali posameznih zrn, ki dosežejo velikost največ 1,5 mm. Ta vzorec se rentgensko razlikuje od drugih po tem, da se njegove  $d$  vrednosti ujemajo z vrednostmi ASTM kartice za stehiometrično čisti rombični halkozin.

Pod mikroskopom ločimo v jedri, drobnozrnati jekleno sivi rudi rombični halkozin, »lamelarni halkozin« in digenit. Po strukturnih odnosih sodim, da je pri metasomatskih procesih nastal najprej digenit, ki se je nato deloma zadržal v prvotnih zrnih, deloma pa je razpadel v rombični halkozin, tako da se je izoblikoval »lamelarni halkozin«. Pri tem je pogosto nastala izredno lepa psevdooktaedrična lamelarna struktura: ploščice rombičnega halkozina, ki se kažejo pod mikroskopom kot svetlejše lamele, leže z (001)//(111) digenita. Dva značilna preseka »lamelarnega halkozina« kaže tabla 5, sl. 2. Prevladujejo nepravilna in izometrična zrna rombičnega halkozina, ki imajo pri ksenonski luči in pri navzkrižnih nikolih različne efekte anizotropnosti in merijo zvečine nekaj 10  $\mu\text{m}$ . Ta zrna predstavljajo osnovo, v kateri so enako velika zrna digenita in navadno nekoliko večja polja »lamelarnega halkozina«.

Rombični halkozin, »lamelarni halkozin« in digenit nadomeščajo starejše sulfide, v veliki meri zlasti covellin, enargit, luzonit in tennantit ter v manjši pirit. V obruskih opazimo vse stopnje nadomeščanja covellina. Začelo se je tako, da je rudonosna raztopina sledila stikom med covellinskimi lističi in sta se rombični halkozin ter digenit, ki je kasneje deloma prešel v »lamelarni halkozin«, pojavila v obliki medzrnskih filmov (tabla 5, sl. 3). Pri nadaljnjih metasomatskih procesih so ostali v njih le še korodirani ostanki covellina (tabla 6, sl. 1), končno pa so tudi ti povsem izginili. V teh primerih gre za prave psevdomorfoze halkozina, »lamelarnega halkozina« in digenita po covellinu. Vsekakor moram priznati, da v primeru monomineralne rude nekdanjo prisotnost covellina skorajda ni mogoče dokazati, kajti oblike njegovih lističev so dobesedno izginile. No, tu in tam jih nakazujejo drobne pore, ki so bile med covellinskimi lističi (tabla 6, sl. 2). Če je bilo v rudi le malo pirita, ki se je nekoč vraščal med covellinske lističe, kaže njegova razvrstitev njihove oblike (tabla 6, sl. 3). Posebno lepo so ohranjene psevdomorfoze npr. »lamelarnega halkozina« po covellinskih lističih takrat, ko so le-ti rasli v porah in so jih pred nadomeščanjem obrastli skorja pirita (tabla 7, sl. 1), kremen (tabla 7, sl. 2) ali drobnozrnati agregat kremenca in pirita (tabla 7, sl. 3).

Tako pridemo do rudnih klastov B, ki so conarno zgrajeni in imajo diferencirano razvrstitev glavnih bakrovih rudnih mineralov. Rombični halkozin, »lamelarni halkozin« in digenit so poleg pirita prisotni le v jedru večjih klastov. V manjših, spremenljivih količinah se jim pridružuje bornit. Značilno je, da nadomešča omenjene tri bakrove sulfide ob porah (tabla 8, sl. 1), ki so služile kot poti pronicanja raztopin, ki so pogojile njegov nastanek. Nadrobna raziskava je pokazala, da prehaja

jedro klastov postopoma v bornitno lupino. To pomeni, da se proti robovom klastov zlagoma povečuje količina bornita in v obratnem razmerju zmanjšuje količina rombičnega halkozina, »lamelnega halkozina« in digenita. Bornit z ene strani in ti trije bakrovi sulfidi z druge torej niso kristalizirali iz trdne raztopine, temveč gre za njihovo izrazito nadomeščanje z mlajšim bornitom. V srednjem delu bornitne lupine je izmed bakrovih sulfidov prisoten edinole bornit, ki gradi okrog  $40\ \mu\text{m}$  velika, bolj ali manj izometrična, včasih poligonalna zrna, ki so pri navzkrižnih nikolih, če uporabljamo ksenonsko luč, opazno anizotropna. Pri tem je značilno, da je pirit v bornitni lupini pogostno razvrščen tako, da lahko brez težave prepoznamo prvotne preseke covellinskih lističev: pirit je namreč ob njih sestavljal tanke skorje (tab. 8, sl. 2). Posebno lepo opazimo prvotne preseke covellinskih lističev v primerih, ko je bakrov sulfid zrastel v porah in ga je obrastel mlajši jalovinski mineral, npr. kremen (tab. 8, sl. 3). Na povsem enak način se kaže bornit tudi v manjših klastih, kjer gradi jedro, katerega obdaja halkopiritna skorja.

Prehod bornitne lupine oziroma bornitnega jedra v halkopiritno skorjo je prav tako postopen. V smeri proti robovom klastov je bornita vse manj in halkopirita vse več. Največ ga je seveda v sami skorji, kjer je zdaleč najbolj pogosten bakrov sulfid. Nadomeščanje bornita s halkopiritom posebno lepo opazujemo v primerih, ko bornit gradi prvotne covellinske lističe, ki so jih v porah obdali mlajši jalovinski minerali, predvsem kremen. Halkopirit se pojavi v bornitu najprej ob robovih nekdanjih covellinskih lističev (tabla 8, sl. 3), nato se v njih nepravilno vrašča (tabla 9, sl. 1), da bi se končno nekdanji covellinski lističi povsem spremenili v halkopirit (tabla 9, sl. 2). Seveda pa je tudi v halkopiritni skorji pirit pogosto razvrščen tako, da očrtuje prvotne covellinske lističe (tabla 9, sl. 3). V slednjih dveh primerih dela halkopirit popolno psevdomorfozo po bornitu. Kakršnega koli dokaza za razpad trdne raztopine bornit-halkopirit v vzorcih iz rudnega telesa Novo okno nismo našli!

Z uporabo ksenonske luči kaže halkopirit pri navzkrižnih nikolih razmeroma jasne efekte anizotropnosti. V tej svetlobi tudi opazimo, da je nenavadno enakomerno drobnozrnat. Njegova zrnca so namreč povprečno velika  $10\ \mu\text{m}$  in bolj ali manj izometrična. Po velikosti zrn in po njihovih presekih se halkopirit v klastih B rudnega telesa Novo okno bistveno razlikuje od halkopirita v metasomatskih in žilno impregnacijskih rudnih telesih borskega rudišča. V teh rudnih telesih so halkopiritna zrna bistveno večja, ksenomorfná in kažejo večkrat dvojčične lamele. Dodajmo še, da je nastal halkopirit v rudnih klastih B tudi v tankih razpokah, ki sečejo bornitna jedra, kar dokazujejo do  $0,5\ \text{mm}$  debele halkopiritne žilice.

Stalni spremljevalec omenjenih bakrovih sulfidov v rudnih klastih B je pirit. V preiskanih vzorcih je nastal predvsem iz ionskih raztopin. Reliktne strukture kažejo, da je bil vselej mlajši od covellina, katerega lističe je obraščal. Če primerjamo piritne skorje v prvotni covellinsko piritni ali piritno covellinski rudi z njihovimi ostanki v rudnih klastih B, potem lahko zapišemo, da so raztopine, iz katerih so nastali rombični halkozin, digenit, bornit in halkopirit, pirit bolj ali manj intenzivno nadomeščale.

Tu in tam zasledimo še piritna zrna in polja s kolomorfniimi strukturami, ki dokazujejo, da je ta sulfid nastajal tudi iz koloidnih raztopin. Posebno značilna so koncentrično zgrajena piritna zrna s številnimi tankimi skorjami. V marsikaterem zrnu so nekatere lupine delno ali povsem nadomeščene z bakrovimi sulfidi, zlasti z rombičnim halkozinom, bornitom in halkopiritom. Vselej gre resnično za nadomeščanje. Nisem našel dokazov, da bi tudi omenjeni bakrovi minerali nastali iz koloidnih raztopin.



Zanimivo je nadalje, da opazimo na poliranih površinah nekaterih rudnih klastov B tudi do nekaj milimetrov debele, navadno nekoliko deformirane, pa tudi povite in zgetene piritne »lamine«. Te leže v klastu posamično ali pa jih je več in so med seboj bolj ali manj vzporedne. Raztezajo se preko cele površine klastov do njihovih robov; ti jih ostro sečejo. Vse kaže, da gre za povsem enake piritne »lamine«, kot smo jih opazovali v covellinski rudi. Lahko zapišemo, da gre v rudnih klastih B za podedovane piritne »lamine« (tabla 1, sl. 2).

Rudni klasti, manjši do 2 cm, in rudni fragmenti, ki leže po podatkih Miškovića (1989) tako v breči rogovačnega andezita, ki vsebuje tudi klaste B, kot v drobnozrnati breči rogovačnega andezita ter v argilitiziranem andezitu, ne kažejo conarne zgradbe. Razlog je v tem, ker so bakrovi sulfidi v njih praktično zastopani le s halkopiritom. Isto velja tudi za sulfidna zrnca, ki jih prav tako vsebujejo omenjene kamnine. Mikroskopska raziskava je pokazala, da je tako v rudnih klastih kot tudi v rudnih fragmentih in v sulfidnih zrnih pogosto lepo ohranjena prvotna covellinsko-piritna struktura, le da sestojte nekdanji covellinski lističi iz zelo drobnozrnatega halkopirita, kakršnega smo našli tudi v rudnih klastih B.

Ko sem tako podal značilnosti mineralne sestave rudnih klastov B, mi preostane še naloga, da razložim, kdaj je nastala njihova conarna zgradba, pa tudi, kaj je pogojilo diferencirano razvrstitev bakrovih sulfidov v njih. Odgovor na to vprašanje ni preprost. Po mojem mnenju zahteva celovito razlago nastanka prvotne bakrove rude v vulkanskem aparatu in seveda tudi razlago nastanka rudnega telesa Novo okno.

Poglejmo najprej, kaj je v zvezi z vsem tem zapisal Mišković (1989). Svoja razmišljanja je strnil v sicer zanimiv, vendar pa po moji oceni v malo verjeten model. Če ga pravilno razumem, je v kraterju vulkana, ki se je dvigal iznad gladine morja, najprej nastalo prvotno rudno telo. Imelo naj bi cevasto obliko in ležalo vertikalno v »centralni razlomni strukturi«. Zgrajeno naj bi bilo iz zgornjega in iz spodnjega dela; glede nastanka in po mineralni sestavi naj bi se ta dva dela bistveno razlikovala. Zgornji del naj bi imel značilnosti »konkrezijske plasti«. Ta »plast« naj bi bil pravzaprav argilitizirani tufski material z rudnimi konkretijami, ki naj bi bile po mineralni sestavi identične z rudnimi klasti A. Po Miškoviću naj bi namreč prišlo v zgornjem delu prvotnega rudnega telesa do intenzivnega mešanja meteorske vode s koloidnimi raztopinami, kar je pogojilo nastanek koloidne rude. Naglo sproščanje volatiliziranih in vodne pare iz raztopin ter krčenje zaradi zmanjševanja prostornin koloidnih delcev pri koagulaciji naj bi v rudi povzročilo nastanek številnih votlin različnih dimenzij. Konkrecije naj bi gradil predvsem pirit, izmed drugih rudnih mineralov pa naj bi bili najbolj pogostni covellin, halkozin in digenit.

V spodnjem delu prvotnega rudnega telesa naj bi pri višji temperaturi in iz ionskih raztopin nastala ruda, katere mineralna sestava bi bila identična z mineralno sestavo rudnih klastov B. To pa pomeni, da bi vsebovala izmed bakrovih sulfidov zlasti bornit in halkopirit. Po Miškoviću (1989) naj bi bili torej glavni bakrovi sulfidi diferencirano razvrščeni že v prvotnem rudnem telesu. K temu moram dodati, da tolmači manjše dimenzije klastov B v primerjavi z dimenzijami klastov A z močnejšimi pritiski, katerim je bil podvržen spodnji del prvotnega rudnega telesa, kar je imelo za posledico intenzivnejše drobljenje. Sicer pa meni, da so se rudni klasti, klasti andezitov in vulkanski pepel sedimentirali skoraj sočasno, in sicer v meteorski vodi, s katero je bila zapolnjena večja kotanja na pobočju vulkana.

Z Miškovićem se moramo vsekakor strinjati, da izvirajo rudni klasti rudnega telesa Novo okno iz prvotnega rudnega telesa, ki je bilo v vulkanskem aparatu ali ob



njem. V bistvu gre za enake procese, kakršne sem popisal že pred leti, ko sem obravnaval klaste z bakrovimi sulfidi iz piroklastičnih kamnin širše okolice Bora (Drovenik, 1966). Marsikaj drugega, kar je zapisal Miškovič, pa je dvomljivo in pomanjkljivo. Poglejmo, kaj imam predvsem v mislih.

1. Miškovič piše (1989), da so nastale v argilitiziranem tufu na dnu vulkanskega kraterja rudne konkrecije s paragenezo, značilno za rudne klaste A. Toda za prisotnost argilitiziranega tufa v zgornjem delu prvotnega rudnega telesa ni nobenih dokazov. Nasploh si je težko zamisliti, da bi v tufu nastale rudne konkrecije prostornine do 50 m<sup>3</sup>! Konkrecije nastajajo pri metasomatski rasti in imajo lupinasto, konkrecijsko zgradbo; o njej pa ni podatka. Težko si je tudi zamisliti, da bi bile konkrecije, takšne, kot naj bi bile nastale, tudi izvržene pri mlajši vulkanski erupciji in odložene v kotanji na pobočju vulkana, ne da bi bile pri tem razbite. Ali so letele kot topovske krogle? Sodim, da bi morale biti, če so res obstajale, pri erupciji razbite, kajti pritiski v vulkanskem žrelu bi delovali tudi nanje, tako da bi se v omenjeni kotanji zbrali le njihovi kosi. Ti bi seveda lahko bili zaradi abrazije pri trku z drugimi rudnimi in andezitskimi kosi ter zaradi naknadnega kotaljenja po pobočju vulkana zaobljeni, kar rudni klasti A res tudi so. Toda v njih bi morala biti vsaj deloma ohranjena lupinasta, konkrecijska zgradba. Te pa rudni klasti A ne kažejo.

2. V rovih, ki so sekali rudno telo Novo okno, sem videl, da so andezitski klasti enako zaobljeni in prav tako okrogli kot rudni klasti. Kolikor je bil bok rova prekrit s prahom in sem lahko opazoval le zaobljene oblike, nisem vedel, če gre za rudni ali andezitski klast, tako so si bili med seboj na videz podobni. Ali so morda tudi andezitski klasti sprva ustvarjali neke vrste konkrecije? Seveda ne. Zaobljeni in okrogli so postali pri erupciji in na njihovi poti do kotanje, v kateri so se odložili skupaj z rudnimi klasti. Menim torej, da so se oblikovali andezitski in rudni klasti pri istih procesih in pri enakih pogojih.

3. Ker so bili deli prvotnega rudnega telesa izvrženi bolj ali manj sočasno, bi pričakovali, da bi bili rudni klasti A in rudni klasti B v rudnem telesu novo okno med seboj pomešani. Toda presek tega rudnega telesa pove (sl. 2A), da so rudni klasti B tako v talnini kot tudi v krovlini rudnih klastov A, izjemoma pa so prisotni tudi med njimi. Odkod takšna razvrščenost rudnih klastov A in B?

4. Zlasti pa pogrešam podatkov o tem, kdaj in kako je nastala conarna zgradba rudnih klastov B in so se diferencirano razvrstili bakrovi sulfidi v njih. Ali naj bi bili tudi ti klasti prvotno neke vrste konkrecije v spodnjem delu rudnega telesa, ležečega v vulkanskem aparatu ali ob njem? Ali sta njihova struktura in nenavadna razvrstitev bakrovih sulfidov nastali kasneje, ko so bili že odloženi v rudnem telesu Novo okno?

Mislím, da je dala prav raziskava rudnih klastov B pomembne podatke o rudi prvotnega rudnega telesa. Prav tako lahko z dobljenimi podatki razložimo procese, ki so potekali v novo nastalem rudnem telesu Novo okno. Pojdimo po vrsti.

Mikroskopska raziskava zbranih vzorcev je pokazala, da je bil v prvotnem rudnem telesu ali vsaj v tistem njegovem delu, iz katerega izvirajo naši klasti, najstarejši rudni mineral covellin. Sledil mu je pirit, ki je pretežno kristaliziral iz ionskih, deloma pa se je izločal tudi iz koloidnih raztopin. Tako je v prvi fazi orudenja nastala covellinska, covellinsko-piritna in piritno-covellinska ruda. Ta je v manjši meri vsebovala tudi druge rudne in nekatere jalovinske minerale. V drugi fazi sta iz prihajajočih raztopin pri metasomatskih procesih, zlasti na račun covellina, nastala rombični halkozin in digenit. Slednji je bil kasneje deloma spremenjen v »lamelarni halkozin«. Mlajša erupcija je dezintegrirala rudno telo in covellinski, covellinsko-piritni in piritno-covellinski klasti ter klasti z večjo ali prevladujočo

količino rombičnega halkozina, »lamelarnega halkozina« in digenita (če navedem le najpomembnejše rudne minerale), so se kot klasti A znašli skupaj z andezitskimi klasti v kotanji, kjer je nastajalo rudno telo Novo okno.

Conarna zgradba klastov B prav gotovo ni nastala v vulkanskem aparatu oziroma ob njem. Isto velja tudi za bornit in halkopirit. Težko si je predstavljati, da bi prvotno rudno telo vsebovalo nekakšno conarno zgrajeno rudo, razen če bi šlo za rudne konkrecije. Toda tudi v tem primeru bi bile konkrecije z erupcijo bolj ali manj prizadete, to je razbite in razkosane. V rudnem telesu Novo okno bi sicer našli njihove zaobljene dele, vendar le-ti ne bi kazali conarnosti, ki bi bila skladna z obliko klastov.

Rezultati mikroskopske raziskave, zlasti strukturno razmerje med rombičnim halkozinom, »lamelarnim halkozinom« in digenitom z ene ter bornita z druge strani kakor tudi razmerje med bornitom in halkopiritom kažejo, da so morali imeti rudni klasti B prvotno enako mineralno sestavo kot klasti A. Conarna zgradba, skladna z obliko klastov, in diferencirana razvrstitev glavnih bakrovih sulfidov sta nastali po mojem mnenju šele kasneje, in sicer potem, ko je rudno telo Novo okno zajela diageneza. Pomembno vlogo pri tem je imela podtalnica, ki je topila sulfidni prah in sulfidna zrnca, razpršena v piroklastičnih kamninah. Ker je pirit bolj topen kot covellin ali halkozin, se je podtalnica obogatila predvsem z železom, v odvisnosti od prisotnih anionov ter Eh in pH pa so nastajali ustrezni kompleksni železovi ioni.

Preden nadaljujem, naj spomnim na dejstvo, da pretrepe bakrova rudišča po njihovem nastanku predvsem dve vrsti sprememb: oksidacijo in cementacijo. Med oksidacijo razpadejo zaradi pronicajoče meteorske vode, ki je bogata s kisikom, bakrovi sulfidi tudi v  $\text{CuSO}_4$ . V odvisnosti od okolja nastanejo pri tem minerali, kot so malahit, azurit, kuprit in hrizokola. Večkrat pa odnaša pronicajoča podtalnica  $\text{CuSO}_4$  v globlje dele rudišča. Pod nivojem mirujoče podtalnice, v redukcijskem okolju, reagira s piritom, halkopiritom in bornitom, tako da nastaneta značilna cementacijska minerala – covellin in halkozin. Bistvo cementacije je v tem, da na račun halkopirita in bornita, ki vsebujeta sorazmerno manj bakra, nastaneta covellin in halkozin, ki ga vsebujeta več.

Manj znano je, da poteka v bakrovih rudiščih tudi proces obratne cementacije (Ramdohr, 1975). V tem primeru se pronicajoča podtalnica zaradi prisotnosti sorazmerno večje količine pirita obogati z železom. Pri reakciji takšne podtalnice z bakrovimi sulfidi nastane na račun npr. bornita halkopirit. Dejansko pride pri tem procesu do osiromašitve rude z bakrom in do obogatitve z železom. Menim, da je nastala conarna zgradba rudnih klastov B in nastopila delna ali popolna preobrazba njihove prvotne mineralne sestave, ki se kaže v diferencirani razvrstitvi bornita in halkopirita, prav zaradi obratne cementacije, ki je med diagenezo zajela rudno telo Novo okno. Na klaste, ki so jih poleg pirita gradili predvsem rombični halkozin, »lamelarni halkozin« in digenit, je vplivala podtalnica, ki je vsebovala kompleksne železove ione. Najprej je prišlo do nadomeščanja rombičnega halkozina, »lamelarnega halkozina« in digenita z bornitom (ta vsebuje po formuli  $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$  64,3 % Cu), v nadaljevanju procesa pa do nadomeščanja bornita s halkopiritom (čisti  $\text{CuFeS}_2$  vsebuje 34,57 % Cu). To, da je nastala conarna zgradba klastov in da je v njih nastopila diferencirana razvrstitev bakrovih sulfidov šele potem, ko so bili vgrajeni v rudno telo Novo okno, dokazuje tudi dejstvo, da so bornitne lupine in halkopiritne skorje razvite povsem skladno z obliko posameznega klasta.

Upoštevaajoč razvrstitev klastov A in klastov B v rudnem telesu Novo okno, lahko zapišemo, da tvorijo klasti A in podrejeno tudi B jedro, katerega obdaja ruda, ki

vsebuje klaste B. Vzrok takšne razvrstitve klastov moramo iskati v manjši poroznosti jedra rudnega telesa ali, kar se mi zdi bolj verjetno, v spremembi sestave podtalnice. V njej se je zaradi metasomatskih procesov v klastih B zelo verjetno tako spremenilo razmerje med železom in bakrom, da obratna cementacija v jedru rudnega telesa ni bila več mogoča. Zato so rudni klasti A zadržali takšno mineralno sestavo, kakršna je bila prvotno v rudnem telesu, ki je ležalo v vulkanskem aparatu ali ob njem. To pa pomeni, da so izmed bakrovih sulfidov v njih najpogostejši rombični halkozin, »lamelarni halkozin«, digenit in covellin.

Stopnja preobrazbe mineralne sestave v klastih B je bila odvisna predvsem od njihove velikosti. V večjih klastih diagenetski procesi niso uspeli povsem spremeniti prvotne mineralne sestave, zato so se v njihovih jedrih zadržali rombični halkozin, »lamelarni halkozin« in digenit. Jedro posameznega klasta obdaja v takšnih primerih lupina bornita in le-to skorja halkopirita. V manjših klastih je bornit povsem nadomestil prej omenjene bakrove sulfide, tako da gradi jedro, katerega obrašča halkopirit. V klastih s še manjšimi premeri ter v sulfidnih zrnih je izmed bakrovih mineralov praktično prisoten le halkopirit, ki je pri metasomatskih procesih povsem nadomestil bornit. Tako jedro z rombičnim halkozinom, »lamelarnim halkozinom« in digenitom, bornitna lupina kakor tudi halkopiritna skorja pa pod mikroskopom kažejo, da je bil prvotni, najstarejši bakrov sulfid povsod covellin.

Vsekakor je nadalje zanimivo, da vsebujejo po Miškoviću rudni drobci in rudna zrna, ki so razpršena v drobnozrnatih brečah rogovačnega andezita, katere prekrivajo rudo s klasti B, ter v drobnozrnatih brečah rogovačnega andezita, ki so pridružene II. pelitski seriji, izmed bakrovih sulfidov le halkopirit. Manjkajo sicer mikroskopski podatki, toda sodim, da je nastal tudi ta halkopirit med diagenetskimi procesi.

Ob vsem tem moram ugotoviti, da kaže primerjava večjih klastov B in celotnega rudišča nenavadno podobnost. Kot smo že nekajkrat zapisali, so v jedru teh klastov izmed bakrovih sulfidov najpogostnejši rombični halkozin, »lamelarni halkozin« in digenit, sledita pa bornitna lupina in nato halkopiritna skorja. V jedru rudišča (slika 2B) so prav tako najpogostnejši bakrovi sulfidi z večjimi količinami bakra, obdaja ga ruda z bornitom in halkopiritom, v večjih razdaljah pa je prisoten izmed bakrovih rudnih mineralov praktično le halkopirit. Rudišče kaže nedvomno neko stopnjo conarnosti, ki se manifestira v diferencirani razvrstitvi glavnih bakrovih sulfidov. Menim, da ti dve dejstvi potrjujeta vpliv podtalnice oziroma diagenetskih procesov pri končnem formiranju rudnega telesa Novo okno.

## Contribution to the Knowledge of the Ore Clasts from the Novo okno Orebody in the Bor Copper deposit

### Summary

In the Bor copper deposit, Eastern Serbia which was discovered in 1903, up to date about twenty very large and large, as well as relatively smaller orebodies have been found. Stockwork and metasomatic orebodies are situated in a several kilometers long, NW-SE striking hydrothermally altered zone which lies in the hanging wall of the so-called Bor fault. Hydrothermal solutions following this fault, have strongly altered the Upper Cretaceous andesites and their pyroclastic equivalents. The main alterations are silicification, kaolinization, pyritization, alunization and chloritization. About 4 km to the north of Bor in an other hydrothermally altered zone of the same extension the large porphyry copper deposit Veliki Krivelj is situated. Upper Cretaceous andesites and their pyroclasts were there mainly biotitized, kaolinized and sericitized.

The Novo okno ("New Shaft") orebody which was discovered in 1978 (Mišković, 1989) is situated in the southern part of Bor copper deposit. It occurs close to the mentioned hydrothermally altered zone in the Upper Cretaceous andesitic pyroclasts which show practically no hydrothermal alteration. The orebody consists of various ore and andesitic clasts. There is no doubt that this orebody is associated with the Upper Cretaceous volcanic activity; ore and andesitic clasts have been ejected during synchronous volcanic eruptions.

The ore clasts from the Novo okno orebody differ somewhat in mineral composition from the ore clasts which have been found in the Upper Cretaceous andesitic pyroclasts in the region of the Bor copper deposit (Drovenik, 1961, 1966), but have a similar mineral composition as the copper ore in different orebodies in the hydrothermally altered zone of the Bor copper deposit. Location of the Novo okno orebody in the immediate vicinity of these orebodies, and similarity of the mineral composition allow the supposition that the mentioned orebodies originated at the same time as the Novo okno orebody, consequently during the Upper Cretaceous igneous activity. This hypothesis, however, is contradicted by several facts, which shall be discussed at an other occasion. In the frame of the present contribution only the characteristics of ore clasts from the Novo okno orebody will be considered. But before they shall be interpreted, let us resume what is known about similar ore clasts which have been found during geological exploration in the region of the Bor copper deposit.

In the fresh Upper Cretaceous andesitic volcanic breccias of the first and of the second volcanic phases up to 1966 about 100 ore clasts with copper sulfides have been identified (Drovenik, 1961, 1966, 1968). They are more or less spherical and from 1 cm to 30 cm large. About 40 of them have been studied in detail. There exist no published data that at a later period additional investigations of mentioned clasts have been carried out.

The most interesting locality in the andesitic pyroclasts of the first volcanic phase was on the northern slope of Čoka Bare, a little hill about 4.5 km W from Bor. Ore clasts have been found also in the Ujova reka valley and on the eastern slope of Kriveljski kamen, a hill about 4.5 km NW from Bor. Andesitic breccias of the second volcanic phase contain such clasts NW of Brestovačka banja and SE of Brestovac.



During detailed investigations the rich sulfide clasts without any indication of metasomatic replacement of andesite by copper sulfides, as well as hydrothermally altered andesite clasts impregnated by copper sulfides have been distinguished. Sulfide clasts consist of pyrite, which originated from ionic and colloidal solutions, as well as of hematite, chalcopyrite, bornite, digenite and chalcocite in various proportions. It should be noted that rich sulfide clasts contain considerable quantities of gold in native state and silver. A specimen with 42.61% Cu contained 105.6 g/t Au and 544.8 g/t Ag. Andesitic clasts with sulfide impregnations were kaolinized, albitized, sericitized, chloritized and prehnitized, and they contain irregular grains of pyrite, hematite, bornite, digenite and chalcocite.

On the basis of the geologic structure of the localities of ore clasts, the mode of copper mineralization, as well as hydrothermal alterations of andesitic clasts with disseminated sulfide grains the conclusion was reached (Drovenik, 1966) that the ore clasts represent most probably parts of copper ore veins and their somewhat altered and mineralized wall rock. They originated as fracture filling during the Upper Cretaceous andesitic volcanism, and were destroyed during a subsequent volcanic eruption. Together with andesitic clasts also ore clasts were deposited in the pyroclastic material. This interpretation led to the conclusion that the copper mineralization in the Timok eruptive area of Eastern Serbia started already during the Upper Cretaceous igneous activity (Drovenik, 1966). At the same time and by similar processes originated also the Novo okno orebody, which was described by Mišković in his unpublished doctor thesis (1989).

The economically quite important and from the genetic point of view unusual Novo okno orebody is situated in the sequence of Upper Cretaceous andesitic pyroclasts which include sporadically also relatively thin beds of grey and red marly pelites. In the course of systematic explorations with drilling from the surface and with underground workings it was demonstrated that this orebody originated in a shallow depression in the flank of a volcano (Mišković, 1989). Its bottom is today about 320 m below the surface. The orebody strikes generally E-W, is about 470 m long and on an average 100 m to 120 m, exceptionally 200 m wide and it extends vertically from +35.3 m to +110 m.

The andesitic pyroclastic rock in the immediate neighbourhood involve four series of grey and red marly pelites, which have been by Mišković (1989) denoted with Roman numerals I, II, III and IV. The geologic cross section shows that the grey and red marly pelites of the series I represent the basement of the orebody. They are overlain by andesitic tuffs with pyrite grains, and in the most westerly part by fine-grained hornblende andesite breccias, which include fragments and grains of pyrite, subordinately also of chalcopyrite. The orebody itself is composed in the base of an interrupted bed of hornblende andesite breccia with ore clasts of the mineral assemblage B, as designated by Mišković (in the further text ore clasts B). Follows the biotite (hornblende) andesite breccia, here and there also hornblende andesite breccia with ore clasts of mineral assemblage A (ore clasts A), to a minor degree also with ore clasts B. This breccia is overlain with hornblende andesite breccia rich in ore clasts B, and locally with argillitized andesite in which fine-grained hornblende andesite breccias as well as fragments of pyrite and chalcopyrite are included. A larger surface belong to the fine-grained hornblende andesite breccia with fragments and grains of pyrite, subordinately also of chalcopyrite. The sequence terminates with andesite tuffs including pyrite grains.

The pelite series II lies over the series I and is with it more or less concordant. The



lower part is composed of grey and red marly pelites which alternate upwards with andesitic tuffs containing pyrite grains, and with fine-grained hornblende andesite breccia which includes fragments and grains of pyrite and in minor degree also of chalcopyrite.

The series III and IV of grey and red marly pelites are situated between the series II and the present surface.

The Novo okno orebody comprises consequently besides various andesitic also the ore clasts, as well as sulfide fragments and grains. Ore clasts are economically the most important. They are represented, as just stated, by ore clasts A and by ore clasts B which differ by their position in the orebody, their size, their structure and by the share of the main copper minerals.

The round and spheroidal ore clasts A occur in the central part of the orebody. Their size ranges mostly between 50 cm and 150 cm, while some blocks attain even 50 m<sup>3</sup>. They are of massive structure and fine-grained texture; their interior is unrelated to their outer shape. The predominant ore mineral is pyrite which deposited from ionic and from colloidal solutions. The most common copper sulfides are covellite, chalcocite and digenite. In minor quantities and in traces are present marcasite, enargite, luzonite, tetrahedrite, tennantite, electrum, native gold, galena, sphalerite, bornite and chalcopyrite. Some clasts show cavities of size mainly 5 mm to 60 mm with crystals of ore and gangue minerals. The ore from the central part of the orebody averages 9 g/t Au and 5.4 g/t Ag (Mišković 1989).

The ore clast B, which are also round and spheroidal, occur in the ore beds below and above the central part of the orebody, and in minor quantity also in the central part itself, mixed with the ore clasts A. Most of ore clasts B are 5 cm to 20 cm in diameter (Mišković, 1989). They are of fine-grained texture and concentric internal structure.

The most common minerals are bornite, chalcopyrite and pyrite, and in lesser amount chalcocite. Marcasite, luzonite, enargite, tennantite, galena, digenite and native gold have been identified too. The presence and arrangement of bornite, chalcopyrite and chalcocite in individual ore clasts is related to their size. The core of clasts with diameter over 10 cm consists mainly of chalcocite and to a lesser degree of bornite. The core is surrounded by the bornite shell which passes over into the chalcopyrite crust. In smaller clasts the bornite core is rimmed by chalcopyrite crust. The most common copper sulfide in clasts with a diameter below 2 cm, in fragments as well as in grains is chalcopyrite.

According to their structure and distribution of ore minerals the ore clasts A are "normal", i.e. such as could be expected if the volcanic eruption had disintegrated and ejected blocks, clasts and fragments of an orebody which originated in a volcano. Unusual are, however, the ore clasts B with their concentric internal structure and with the differentiated arrangement of main copper minerals.

In the attainable literature I could not find any reference of a single orebody where the explosively ejected ore clasts became concentrated in economic quantities. I also could not get any information on pyroclastic rocks that contain ore clasts with the characteristics of the ore clasts B. This is true also for those volcanogenic massive sulfide deposits in which the ore beds were partly disintegrated and ore clasts incorporated in the pyroclastic rocks, as for example the famous Japanese Kuroko deposits.

Since Mišković in his dissertation (1989) did not explain the mentioned characteristics of ore clasts B, I have microscopically examined in detail the speci-

mens which I collected in the mine in 1984, and received from Miss Heda Kočevar, who collected them in 1985, for what I am very grateful to her.

Of the larger clasts with the chalcocite-bornite-chalcopyrite association, which show macroscopically, especially on the polished surface, the chalcocite core, bornite shell and chalcopyrite crust, I closely examined only segments. Other somewhat smaller clasts show bornite core with larger or smaller quantity of chalcopyrite and chalcopyrite crust. A very conspicuous characteristics of all these samples is the congruity of their concentric internal structure with their outer shape. The ore clasts with diameters smaller than 2 cm contain of the copper minerals practically only chalcopyrite.

Detailed microscopic investigations have demonstrated that in the primary orebody in the volcano, or at least in its part from which our ore clasts are derived, covellite was the earliest ore mineral. From ionic and to a lesser extent also from colloidal solutions afterwards pyrite was deposited. In this way during the first stage of mineralization covellite, covellite-pyrite and pyrite-covellite ore originated, which contained in minor quantity or in traces several other ore as well as gangue minerals. By the intergrowth of covellite sheets with pyrite or gangue minerals, particularly with quartz, originated textures which permit to recognize subsequent replacements of covellite sheets by younger copper sulfides. Pyrite and quartz, which surrounded covellite sheets, were namely during the metasomatic replacement more stable than covellite, and have therefore preserved their shapes.

In the second phase of mineralization covellite was replaced by rhombic chalcocite and digenite. The latter was subsequently in part converted to "lamellar chalcocite". In this way often partial or total pseudomorphs of rhombic chalcocite, "lamellar chalcocite" and digenite after covellite developed. Since in the investigated polished sections no sign of any metasomatic replacement of andesite or andesitic tuff by copper minerals or by pyrite was observed, I believe that the ore minerals were deposited in one, or in several open spaces.

During subsequent volcanic activity the ore body disintegrated. Clasts with covellite, covellite-pyrite and pyrite-covellite ore, as well as clasts which consisted predominantly or entirely of rhombic chalcocite, "lamellar chalcocite" and digenite (considering only the major copper minerals) have been deposited together with different andesitic clasts in a shallow depression, where the Novo okno orebody progressively originated. The prevailing amount of ore clasts in the central part of the Novo okno orebody, consequently the ore clasts A, have in my opinion, the same texture, structure and mineral composition as the primary orebody which originated within the volcano. As it has been demonstrated, this is, however, not valid for the ore clasts B which occur in the beds below and above the central part of the orebody and subordinately also in the central part itself. The ore clasts B have the same fine-grained texture as ore clasts A, but they are of concentric internal structure and they contain as chief copper ore minerals bornite and chalcopyrite instead of rhombic chalcocite, "lamellar chalcocite" and digenite.

I believe that the concentric internal structure, as well as bornite and chalcopyrite did not originate in the primary orebody within the volcano. It is difficult to imagine that this orebody contained also ore with concentric internal structure, except in the case of innumerable ore concretions with such a structure. During the eruption, however, such concretions should have been broken to pieces. In the Novo okno orebody their rounded clasts should have been found, as have been found rounded clasts of various andesites, but their concentric internal structure should not have

been related with their outer shape. However, just the congruity of concentric internal structure with their outer shape is the most conspicuous, and at the same time also the most significant characteristic of the ore clasts B, which indicates that the mentioned structure could not arise before the ore clasts have been ultimately shaped and deposited at the place, where the Novo okno orebody formed.

Results of microscopic investigations, particularly the textural relationship between rhombic chalcocite, "lamellar chalcocite" and digenite which occur in the core on one side, and bornite that occurs in some samples in core and in others in the shell, as well as chalcopyrite which is in the crust on the other side indicate that ore clasts B should have been primarily of the same mineral composition as ore clasts A. In examined clasts rhombic chalcocite, "lamellar chalcocite" and digenite exhibit pseudomorphs after covellite. Bornite replaces all three mentioned copper sulfides; in the case when the covellite sheets were surrounded by pyrite or gangue, their original shape is still very well preserved. Chalcopyrite, which is in the paragenesis the youngest ore mineral, replaced bornite. The former covellite sheets are therefore in the crust of the clasts completely transformed in chalcopyrite.

When summarizing the collected data, the conclusion can be reached that the concentric internal structure as well as the differentiated distribution of copper sulfides in the ore clasts B did not originate until the Novo okno orebody was affected by diagenesis. The dominant role during diagenetic processes was played, of course, by the ground water which dissolved sulfide grains and dust dispersed in the unconsolidated pyroclastic material. Owing to the fact that pyrite is more soluble than chalcocite or covellite, the ground water became enriched in iron. Depending upon anions present, as well as upon Eh and pH the corresponding complex iron ions were formed.

In this connection I would like to point out that the copper ore deposits underwent after their forming quite often two kinds of alteration – oxidation and cementation. During the oxidation the percolating meteoric water caused in the oxidized zone the decomposition of copper sulfides with generation of several chemical species, among them also of  $\text{CuSO}_4$ . In dependence of the environment secondary copper minerals, as for instance malachite, azurite, cuprite and chrysocolla originated. If the descendent water carrying  $\text{CuSO}_4$  reached deeper levels of the deposit in the cementation (secondary sulfide) zone, owing to replacement of pyrite and of copper sulfides with lesser amount of copper, chalcocite, and covellite which contain more copper crystallized.

It is, however, not so well known that in some copper deposit also the processes of reverse cementation may have taken place. In these cases, due to the predominant pyrite in the ore, descending water could be enriched in iron. By the reaction of such water with ore metasomatic processes could lead to impoverishment of copper, and bornite, for example, could have been replaced by chalcopyrite. I believe that the internal concentric structure of the ore clasts B and partial or even complete transformation of primary copper sulfides to bornite as well as chalcopyrite originated just thanks to reverse cementation, which took place in the Novo okno orebody during the diagenesis.

Ore clasts composed in addition to pyrite also of rhombic chalcocite, "lamellar chalcocite" and digenite were affected by the ground water which carried complex iron ions. First these three copper sulfides were partly (in larger clasts) or entirely (in smaller clasts) replaced by bornite ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$  contains 63.3% Cu), and then bornite was partly (in smaller clasts) or entirely (in ore fragments and sulfide grains)

replaced by chalcopyrite ( $\text{CuFeS}_2$  contains 34.57% Cu). In this way the concentric internal structure of the ore clasts B was formed.

It has been stated before that the ore clasts A are situated in the central part of the Novo okno orebody, and the ore clasts B mainly in the beds below and above it. Such distribution of the two kinds of clasts could be explained by lower porosity in the central part of the orebody, or by a change in chemical composition of the ground water. Because of metasomatic reactions between ground water enriched with iron ions and copper sulfides in the ore clasts B the relation among iron and copper ions may have changed, and the reverse cementation in the central part of the orebody was no more possible. Therefore the ore clasts A retained the mineral composition of the primary orebody situated within the volcano.

And finally, I consider that significant similarity in the structure as well as in the distribution of main copper ore minerals exists between the larger ore clasts B and the Novo okno orebody on the whole. As explained before, larger ore clasts B definitely show well expressed zoning which is displayed by the concentric internal structure: the core with rhombic chalcocite, "lamellar chalcocite" and digenite is succeeded by the bornite shell, which is rimmed by chalcocite crust. The cross section of the Novo okno orebody shows practically the same zonation. In its central part rhombic chalcocite, "lamellar chalcocite", digenite as well as covellite are the major copper ore minerals. Below and above the central part bornite and chalcopyrite are predominating. At a greater distance, however, the chalcopyrite is the principal, if not the unique ore mineral.

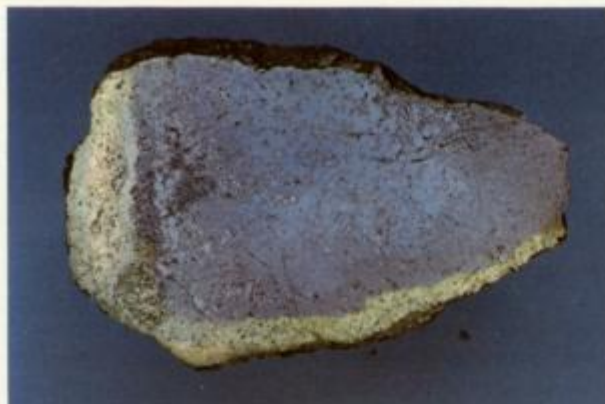
Since I explained that the zonation of the larger ore clasts B is a consequence of the diagenetic processes, the conclusion can be reached that the similar zonation of the entire Novo okno orebody originated by the action of the same processes.

## Literatura

- Berry, L. G. & Thompson, R. M. 1962, X-Ray Powder Data for Ore Minerals. The Peacock Atlas. The Geological Society of America, Memoir 85, New York.
- Drovenik, M. 1961, Geološko-petrološka študija širše okolice rudnika Bor (vzhodna Srbija). Doktorska disertacija, Ljubljana.
- Drovenik, M. 1966, Mineralni sastav i geneza odlomaka sa bakarnim sulfidima iz piroklastičnih stena šire okolice rudnika Bor. Rudarsko-metalurški zbornik, št. 4, Ljubljana.
- Drovenik, M. 1968, Razvoj magmatskih in piroklastičnih kamenin v okolici bakrovega rudišča Bor. *Geologija* 11, 5-127, Ljubljana.
- Hashiguchi, H. 1983, Penecontemporaneous Deformation of Kuroko Ore at Kosaka Mine, Akita, Japan. In: Economic Geology Monograph 5, The Kuroko and Related Volcanogenic Massive Sulfide Deposits, 167-183, New Haven.
- Kuroda, H. 1983, Geologic Characteristics and Formation Environments of the Furutobe and Matsuki Kuroko Deposits, Akita Prefecture, Northeast Japan. In: Economic Geology Monograph 5, The Kuroko and Related Volcanogenic Massive Sulfide Deposits, 149-183, New Haven.
- Mišković, V. 1989, Geneza ležišta bakra »Novo okno« i metalogenetska korelacija sa rudoklastima u borskom reonu - Istočna Srbija. Doktorska disertacija, Beograd.
- Ramdohr, P. 1975, Die Erzminerale und ihre Verwachsungen. Akademie-Verlag, Berlin.
- Sawkins, F. J. 1984, Metal Deposits in Relation to Plate Tectonics. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo.
- Thurlow, J. G., Swanson, E. A. & Strong, D. F. 1975, Geology and Lithochemisrty of the Buchans Polimetallic Sulfide Deposits, Newfoundland. *Economic Geology* 70, 130-144, Lancaster.
- Yui, S. & Ishitoya, K. 1983, Some Textures of the Ores from the Ezuri Kuroko Deposits, Akita Prefecture, Japan. In: Economic Geology Monograph 5, The Kuroko and Related Volcanogenic Massive Sulfide Deposits, 224-230, New Haven.



Tabla 1 – Plate 1



Sl. 1. – Fig. 1

Del rudnega klasta B. V jedru so rombični halkozin »lamelarni halkozin« in digenit. Spodaj in levo sta bornitna lupina in halkopiritna skorja. Vzorec je dolg 8,5 cm

Segment of ore clast B. Core includes rhombic chalcocite, "lamellar chalcocite" and digenite. On the bottom and left are bornite shell and chalcopyrite crust. The specimen is 8,5 cm long



Sl. 2 – Fig. 2

Del rudnega klasta B. Jedro iz rombičnega halkozina, »lamelarnega halkozina« in digenita vsebuje nagubane piritne lamine. Desno je najprej bornitna lupina in nato halkopiritna skorja. Vzorec je dolg 9 cm

Segment of ore clast B. Core of rhombic chalcocite, "lamellar chalcocite" and digenite includes folded pyrite laminas. On the right is surrounded by bornite shell and by chalcopyrite crust. The specimen is 9 cm long



Sl. 3 – Fig. 3

Del rudnega klasta B. Bornitno jedro vsebuje levo in desno več zelo drobnnozrnatega piritu, zato je tam barva temnejša. Jedro obdaja halkopiritna skorja. Vzorec je širok 8 cm

Segment of ore clast B. Bornite core includes left and right very fine-grained pyrite, therefore the colour there is somewhat darker. Note the chalcopyrite crust. The specimen is 8 cm wide

## Tabla 2 – Plate 2

Sl. 1 – Fig. 1

Polovica rudnega klasta B. Bornitno jedro (spodaj sredina) prehaja postopoma v halkopiritno skorjo. Levo je zelo drobnnozrnati pirit, zato je tam barva temnejša. Vzorec je širok 7,5 cm

Half of the ore clast B. Bornite core passes progressively into chalcopyrite crust. Very fine-grained pyrite to the left induces darker colour. The specimen is 7.5 cm wide



Sl. 2 – Fig. 2

Andezitska vulkanska breča vsebuje rudni klast B z bornitnim jedrom in halkopiritno skorjo. V breči so še sulfidni drobci. Vzorec je dolg 10 cm

Andesitic volcanic breccia with ore clast B showing bornite core and chalcopyrite crust. The specimen is 10 cm long



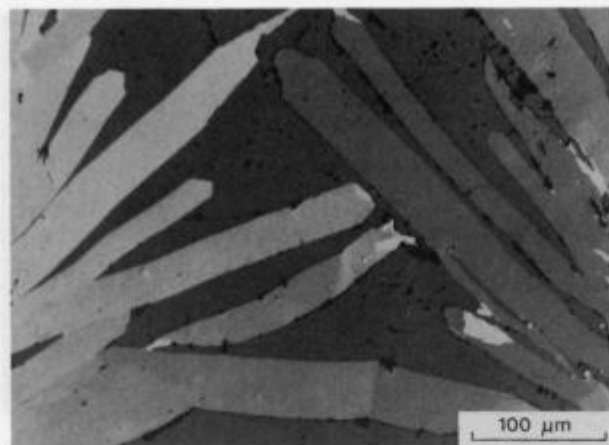
Sl. 3 – Fig. 3

Andezitska vulkanska breča z manjšim rudnim klastom B, ki vsebuje izmed bakrovih mineralov le halkopirit. Prisotni so tudi sulfidni drobci in zrna. Vzorec je dolg 11 cm

Andesitic volcanic breccia with smaller ore clast B which contains chalcopyrite as unique copper mineral. Sulfide fragments and grains are also present. The specimen is 11 cm long



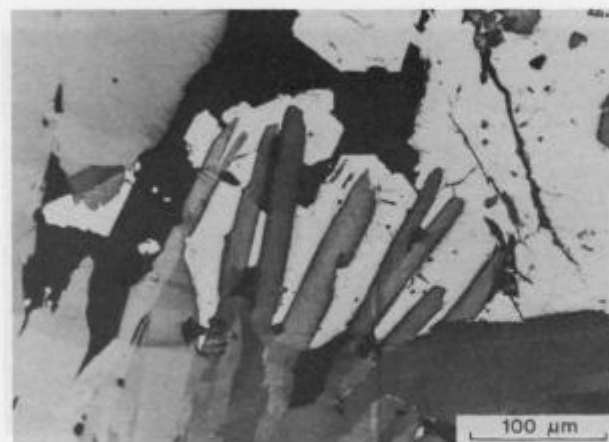
Tabla 3 – Plate 3



Sl. 1 – Fig. 1

Zelo lepo razviti covellinski lističi so obdani z mlajšim, kremenom. Odsevna polarizirana svetloba

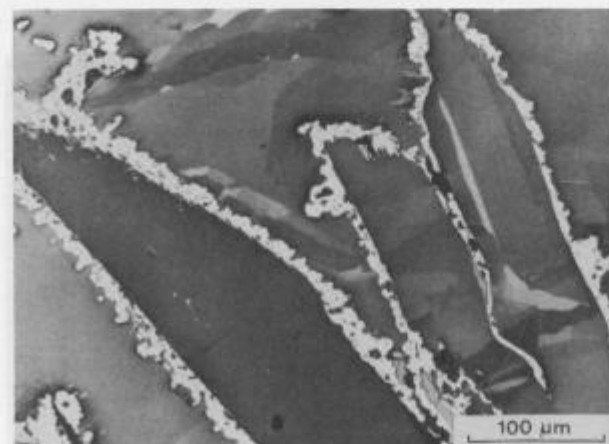
Very well developed covellite sheets surrounded by younger quartz. Reflected polarized light



Sl. 2 – Fig. 2

Covellinski lističi so obdani z mlajšim piritom. Odsevna polarizirana svetloba

Covellite sheets surrounded by younger pyrite. Reflected polarized light



Sl. 3 – Fig. 3

Tanke piritne skorje ob covellinskih lističih. Odsevna polarizirana svetloba

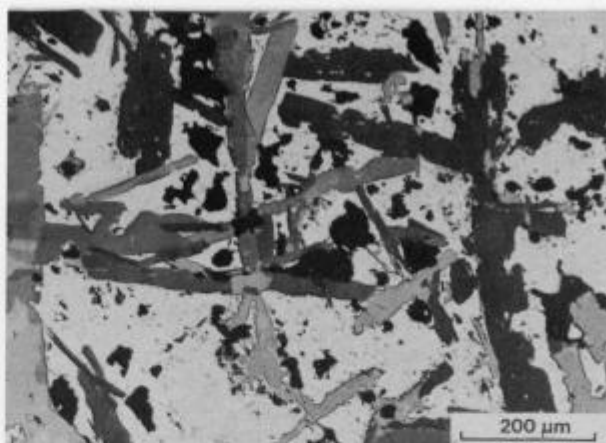
Thin pyrite rims along covellite sheets. Reflected polarized light

Tabla 4 – Plate 4

Sl. 1 – Fig. 1

Covellinski lističi »plavajo«  
v piritu. Odsevna polarizirana  
svetloba

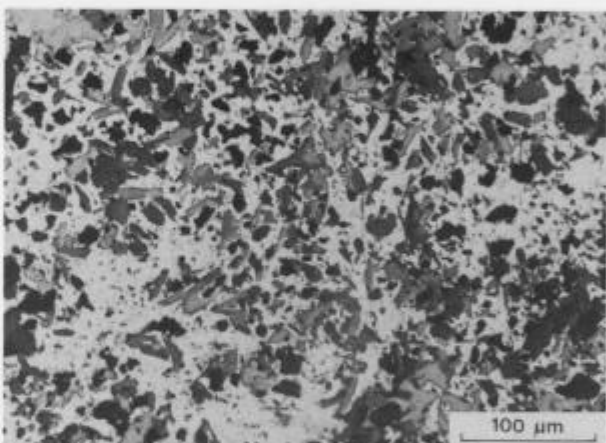
Sheets of covellite "floating" in  
pyrite. Reflected polarized light



Sl. 2 – Fig. 2

Drobnozrnata covellinsko-piritna  
osnova. Odsevna polarizirana  
svetloba

Fine-grained covellite-pyrite  
groundmass. Reflected polarized  
light



Sl. 3 – Fig. 3

Zelo majhna covellinska in piritna  
zrna (C+P) ter skorjasti pirit (P).  
Odsevna polarizirana  
svetloba

Tiny covellite and pyrite grains  
(C+P), as well as pyrite with col-  
loform bands (P). Reflected  
polarized light

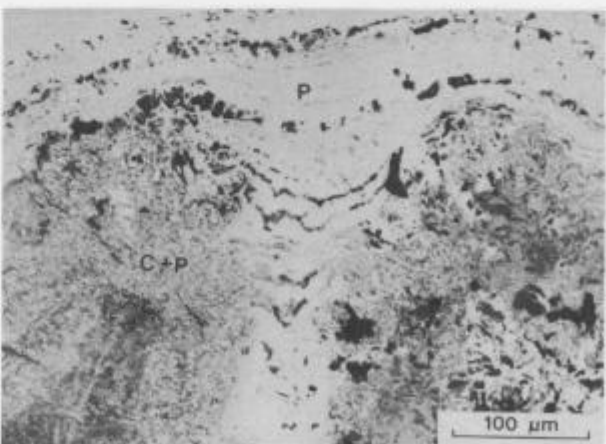
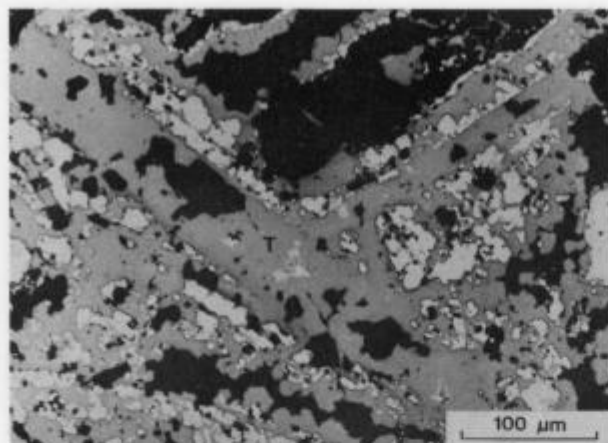




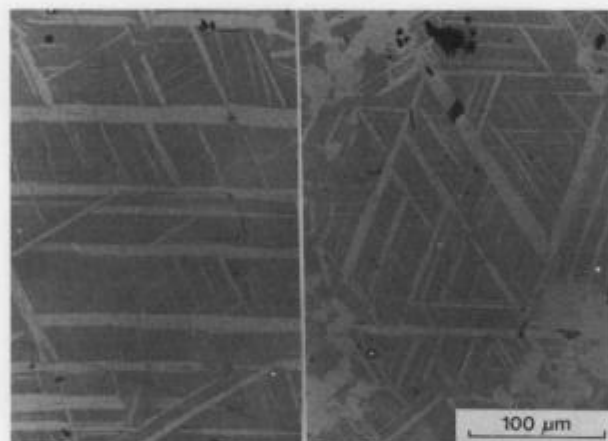
Tabla 5 – Plate 5



Sl. 1 – Fig. 1

Tennantit (T) nadomešča covel-  
linske lističe. Belo je pirit in  
temno sivo kremen. Odsevna po-  
larizirana svetloba

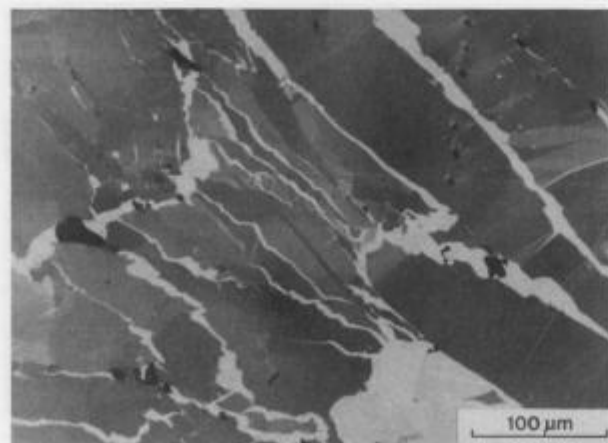
Tennantite (T) replaces covellite  
sheets. Note pyrite (white) and  
quartz (dark grey). Reflected  
polarized light



Sl. 2 – Fig. 2

Dva značilna preseka »lamelar-  
nega halkozina«. Osnovo gradi  
digenit, lamele pa rombični hal-  
kozin. Ni jedkano! Odsevna po-  
larizirana svetloba

Two characteristic sections of  
"lamellar chalcocite". Ground-  
mass belongs to digenite, and  
lamellas to rhombic chalcocite.  
Unetched! Reflected polarized  
light



Sl. 3 – Fig. 3

Filmi rombičnega halkozina in  
digenita med covelinskimi listi-  
či. Odsevna polarizirana svet-  
loba

Films of rhombic chalcocite and  
digenite between covellite  
sheets. Reflected polarized light

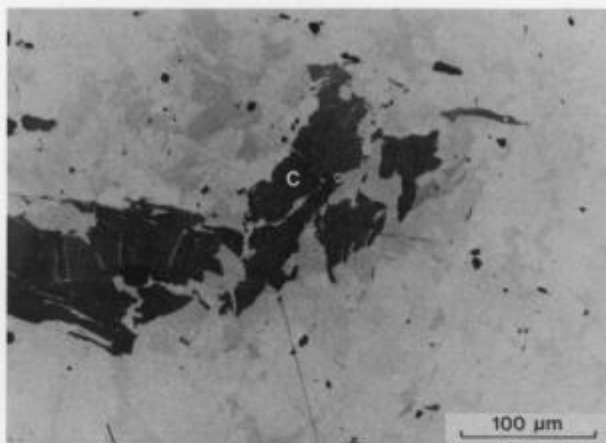


Tabla 6 – Plate 6

Sl. 1. – Fig. 1

Korodirani ostanki covellinskih lističev (C) v osnovi iz rombičnega in »lamelnarnega halkozina« ter digenita. Odsevna polarizirana svetloba

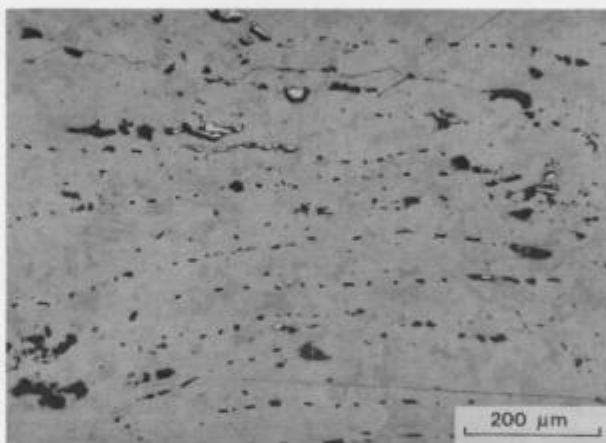
Corroded remnants of covellite sheets (C) in the groundmass of rhombic and "lamellar chalcocite", as well as of digenite. Reflected polarized light



Sl. 2 – Fig. 2

Popolna pseudomorfoza rombičnega in »lamelnarnega halkozina« ter digenita po covellinskih lističih. Nekdanje meje med njimi označujejo zelo majhne pore. Prisotna so posamezna piritna zrna (bela). Odsevna polarizirana svetloba

Complete pseudomorphs of rhombic chalcocite, "lamellar chalcocite" and digenite after covellite sheets. Their former boundaries indicated by tiny pores. Note some pyrite grains (white). Reflected polarized light



Sl. 3 – Fig. 3

Razvrstitev piritnih zrn kaže oblike nekdanjih covellinskih lističev, ki so bili povsem spremenjeni v rombični in »lamelnarni halkozin« ter v digenit. Odsevna polarizirana svetloba

Arrangement of pyrite grains shows the shapes of former covellite sheets which have been completely replaced by rhombic chalcocite, "lamellar chalcocite" and digenite. Reflected polarized light

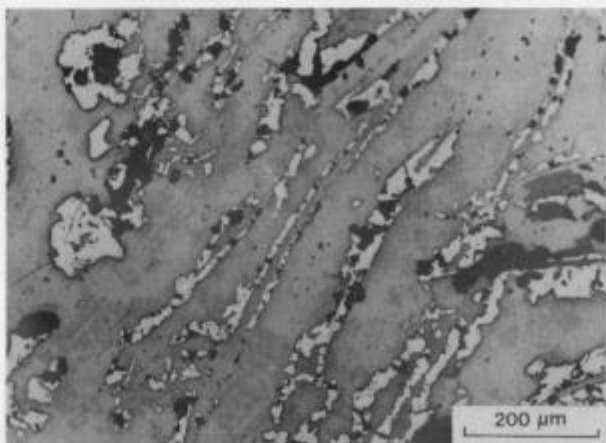
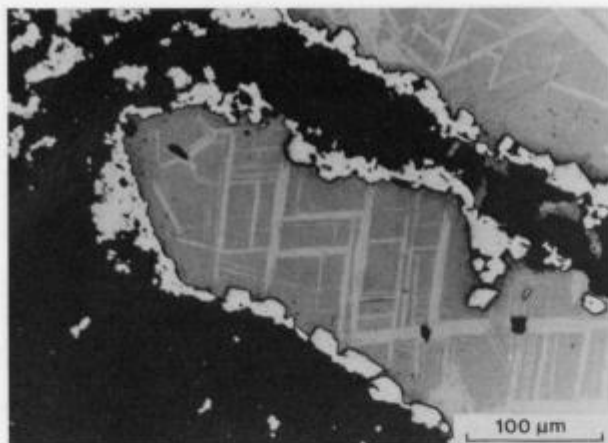


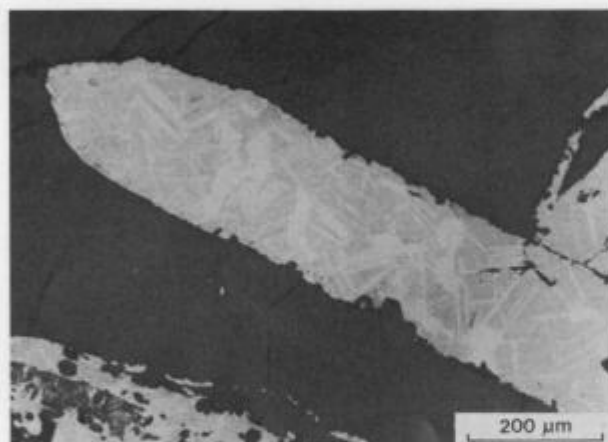
Tabla 7 – Plate 7



Sl. 1 – Fig. 1

Lepo razvit covellinski listič je obrastla piritna skorja, nato pa ga je nadomestil »lamelarni halkozin«. Ni jedkano! Odsevna polarizirana svetloba.

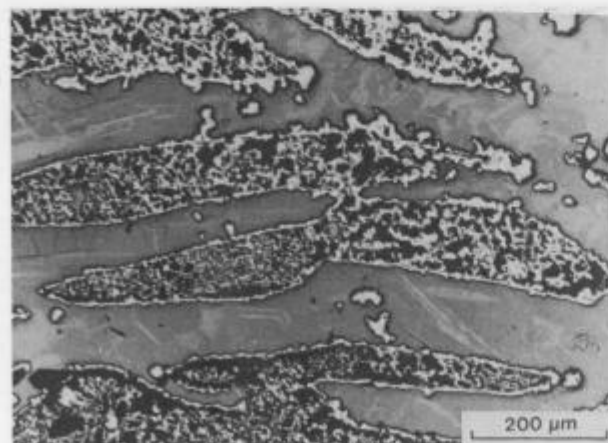
Well developed covellite sheet was overgrown with pyrite rim and later replaced by "lamellar chalcocite". Unetched! Reflected polarized light



Sl. 2 – Fig. 2

Lepo razvit covellinski listič je najprej obdal kremen, nato pa ga je nadomestil »lamelarni halkozin«. Ni jedkano! Odsevna polarizirana svetloba

Well developed covellite sheet was first surrounded by quartz and then replaced by "lamellar chalcocite". Unetched! Reflected polarized light



Sl. 3 – Fig. 3

Covellinski lističi so bili obdani z drobnozrnatim agregatom kremenca in pirita ter nato nadomeščeni z »lamelarnim halkozinom«. Ni jedkano! Odsevna polarizirana svetloba

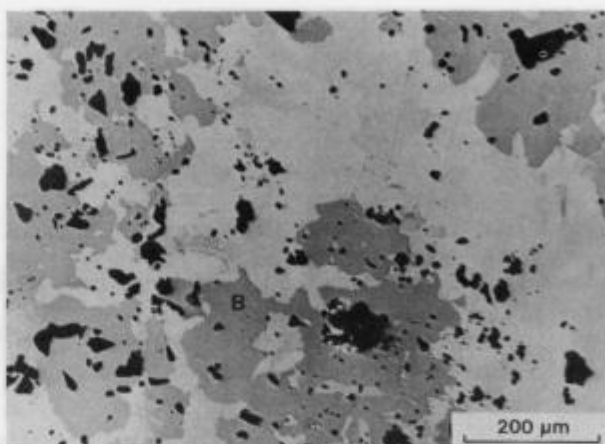
Covellite sheets surrounded with fine-grained aggregate of pyrite and quartz were later replaced by "lamellar chalcocite". Unetched! Reflected polarized light

Tabla 8 – Plate 8

Sl. 1 – Fig. 1

Bornit (B) nadomešča rombični halkozin, »lamelarni halkozin« in digenit ob majhnih porah. Odsevna polarizirana svetloba

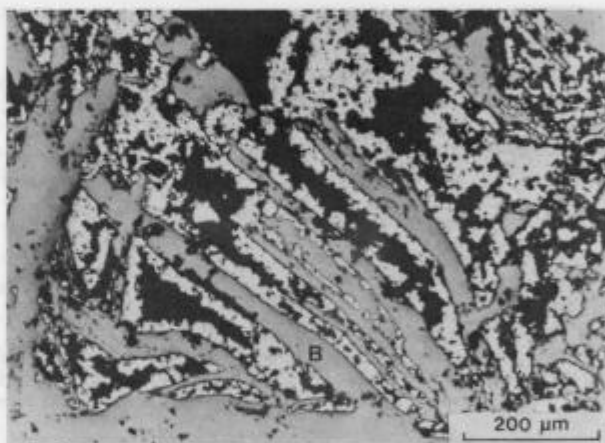
Bornite (B) replaces rhombic chalcocite, "lamellar chalcocite" and digenite along tiny pores. Reflected polarized light



Sl. 2 – Fig. 2

Prvotni covellinski lističi, obraščeni s piritom, so sedaj bornit (B). Odsevna polarizirana svetloba

Former covellite sheets rimmed by pyrite are now bornite (B). Reflected polarized light



Sl. 3 – Fig. 3

Prvotni covellinski lističi so sedaj bornit (B). Tega ob robovih nadomešča mlajši halkopirit (belo). Odsevna polarizirana svetloba

Former covellite sheet are now bornite (B), which is replaced along borders by younger chalcopyrite (white). Reflected polarized light

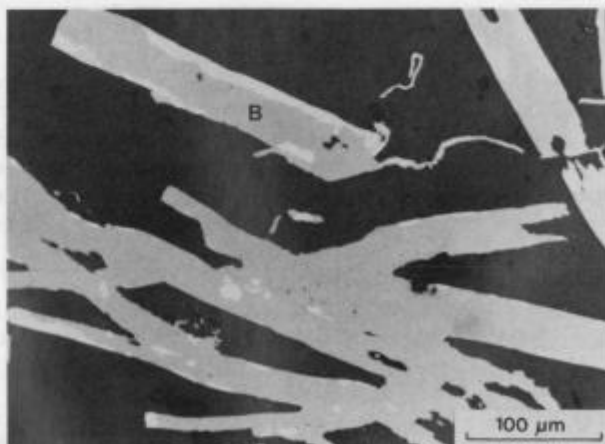
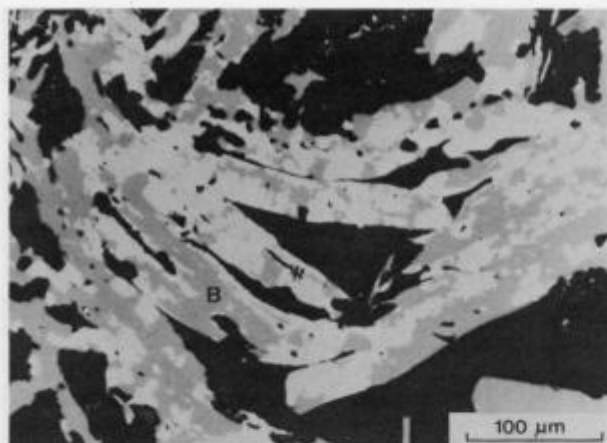


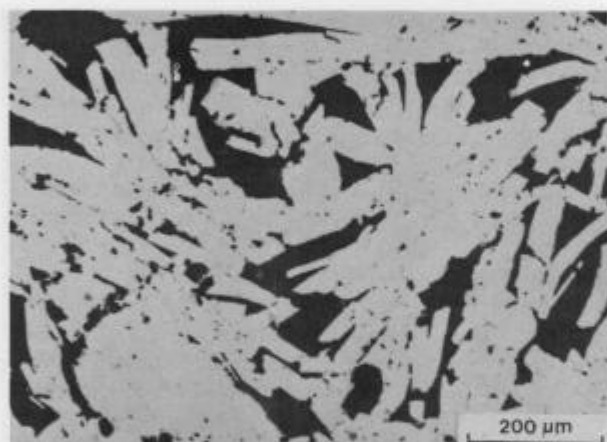
Tabla 9 – Plate 9



Sl. 1 – Fig. 1

Halkopirit (belo) se nepravilno vrašča v bornit (B), ki gradi nekdanje covellinske lističe. Odsevna polarizirana svetloba

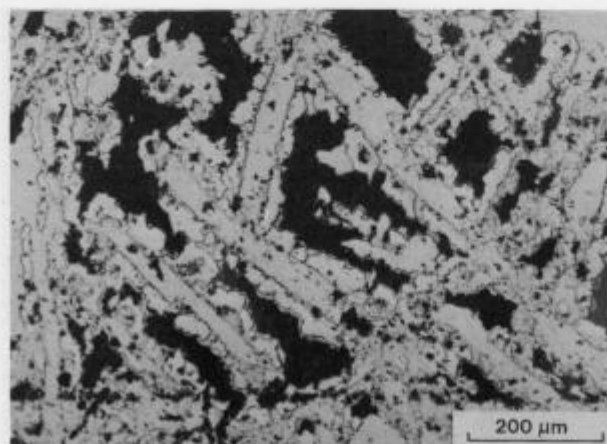
Chalcopyrite (white) grows irregularly into bornite (B), which built up former covellite sheets. Reflected polarized light



Sl. 2 – Fig. 2

Nekdanji covellinski lističi so povsem spremenjeni v halkopirit. Temno sivo je kremen. Odsevna polarizirana svetloba

Former covellite sheets are entirely altered to chalcopyrite. Dark grey is quartz. Reflected polarized light



Sl. 3 – Fig. 3

Pyritni robovi ob nekdanjih covellinskih lističih, ki so sedaj halkopirit. Temno sivo je kremen. Odsevna polarizirana svetloba

Pyrite rims along former covellite sheets, which are now chalcopyrite. Dark grey is quartz. Reflected polarized light