

Rudna mikroskopija

Aleksandar Pačevski



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Rudna mikroskopija | Aleksandar Pačevski | | 2018 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0006168>

Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду омогућава приступ издањима Факултета и радовима запослених доступним у слободном приступу. - Претрага репозиторијума доступна је на www.dr.rgf.bg.ac.rs

The Digital repository of The University of Belgrade Faculty of Mining and Geology archives faculty publications available in open access, as well as the employees' publications. - The Repository is available at: www.dr.rgf.bg.ac.rs

**UNIVERZITET U BEOGRADU
RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET**

RUDNA MIKROSKOPIJA

Aleksandar Pačevski

BEOGRAD, 2018.

RUDNA MIKROSKOPIJA

Aleksandar Pačevski

BEOGRAD, 2018.

Aleksandar Pačevski
RUDNA MIKROSKOPIJA

Odlukom br. 8/97 (od 24. 9. 2018. god.) Nastavno-naučnog veća Rudarsko-geološkog fakulteta, donetoj na sednici koja je održana 20. 9. 2018. godine, usvojen je pozitivan izveštaj recenzenata kojim se rukopis "Rudna mikroskopija" autora Aleksandra Pačevskog odobrava za publikovanje kao predmetni udžbenik.

Urednik:

Dr Suzana Erić, van. prof.

Recenzenti:

Dr Predrag Vulić, docent

Dr Slobodan Radosavljević, naučni savetnik

Mesto i godina izdanja:

Beograd, 2018.

Izdaje i štampa:

Univerzitet u Beogradu – Rudarsko-geološki fakultet

Đušina 7, 11000 Beograd

Za izdavača:

Dr Dušan Polomčić, red. prof. – dekan

Tiraž: 300 primeraka

CIP - Каталогизација у публикацији - Народна библиотека Србије, Београд

553.086(075.8)(0.034.2)

ПАЧЕВСКИ, Александар, 1977-

Rudna mikroskopija [Elektronski izvor] / Aleksandar Pačevski. - Beograd
Univerzitet, Rudarsko-geološki fakultet, 2018 (Beograd : Univerzitet,
Rudarsko-geološki fakultet). - 1 elektronski optički disk (CD-ROM) ; 12 cm

Sistemska zahteva: Nisu navedeni. - Nasl. sa naslovne strane dokumenta. -

Tiraž 300. - Sadrži bibliografiju.

ISBN 978-86-7352-330-9

a) Микроскопија руда

COBISS.SR-ID 270000140

Copyright©2018, Univerzitet u Beogradu – Rudarsko-geološki fakultet

Zabranjeno kopiranje, sva prava zadržava izdavač

PREDGOVOR

Intenzivni razvoj i primena rudne mikroskopije kao jedne od najznačajnijih disciplina u ispitivanju rudnih minerala, započeti su u svetu dvadesetih godina prošlog veka. Narednih decenija, do razvoja rudne mikroskopije dolazi i na našim prostorima. Shodno relativno dugoj tradiciji primene ove naučne discipline kod nas, nameće se potreba za izdavanjem jednog sveobuhvatnog udžbenika iz rudne mikroskopije, koji će prvenstveno biti namenjen studentima za lakše savladavanje gradiva, ali isto tako i istraživačima pri radu sa rudnim mikroskopom.

Ovaj udžbenik prati nastavne jedinice istoimenog nastavnog predmeta *Rudna mikroskopija* na Rudarsko-geološkom fakultetu, Univerziteta u Beogradu. Pored pomenutog predmeta, predviđen je i kao nastavno sredstvo za predmet *Osnovi rudne mikroskopije*, a pojedini delovi udžbenika mogu se koristiti i za predmete *Mineralogija nesilikata* i *Parageneze rudnih minerala*.

Udžbenik se sastoji iz dva dela – *I Opšti deo* i *II Rudnomikroskopska svojstva minerala*. Opšti deo sadrži opis same metode, sistematski prikazan u poglavljima 1-4 koja su neophodna za osposobljavanje studenata za rad sa rudnim mikroskopom. U istom delu, poglavlje 5 objašnjava osnovne principe kvantitativnih merenja u rudnoj mikroskopiji, koja su danas manje u upotrebi i koriste se samo za pojedine specifične potrebe. Ovo poglavlje je obuhvaćeno jedino nastavnim programom predmeta rudna mikroskopija. Drugi deo udžbenika prema sadržaju i organizaciji podseća na atlas minerala, što je autoru i bio cilj. Uz upotrebu sadržaja, a naročito indeksa minerala na kraju udžbenika, pregledno su prikazani svi minerali od značaja za mineralogiju rudnih ležišta. Za osnovne i najbitnije minerale, na početku opisa svakog minerala, tabelarno su data mikroskopska svojstva, praćena mikrofotografijama. Ovakvom organizacijom ovog dela udžbenika, studentima, a naročito istraživačima, pružena je mogućnost da udžbenik koriste ne samo za sticanje teorijske osnove, već i prilikom praktičnog rada na rudnom mikroskopu, uz relativno laku dostupnost osnovnih podataka o mineralu neophodnih za njegovo prepoznavanje pod mikroskopom.

Ovom prilikom se zahvaljujem dragim kolegama; recenzentima dr Slobodanu Radosavljeviću, dr Predragu Vuliću i uredniku dr Suzani Erić na pregledu rukopisa i korisnim sugestijama, Aleni Zdravković na pomoći u pronalaženju podataka i pojedinih uzoraka iz Zbirke minerala i stena Univerziteta u Beogradu – Rudarsko-geološkog fakulteta i Slavici Simićević na pomoći u izradi rudnomikroskopskih preparata. Dr Slobodanu Radosavljeviću dodatno sam zahvalan na korisnim diskusijama u oblasti rudne mikroskopije koje smo vodili prethodnih godina, a dr Predragu Vuliću za pomoć u identifikaciji pojedinih rudnih minerala metodom rendgenske difrakcije. Posebnu zahvalnost dugujem svom profesoru dr Ljubomiru Cvetkoviću (1946-2012), kao i ostalim ranijim istraživačima u oblasti rudne mikroskopije kod nas, koji su u velikoj meri zaslužni što su mnogi vredni podaci rudnomikroskopskih istraživanja sačuvani i danas izloženi u ovom udžbeniku.

U Beogradu,
2018. godine

Aleksandar Pačevski

SADRŽAJ

I Opšti deo

1. ZNAČAJ I PRIMENA RUDNE MIKROSKOPIJE	1
1.1 Dodatne metode ispitivanja rudnih minerala	2
2. RUDNI MIKROSKOP: DELOVI I PRATEĆA OPREMA	6
3. PRIPREMA PREPARATA	13
4. RUDNOMIKROSKOPSKA DETERMINACIJA MINERALA	22
4.1. Optička svojstva minerala	22
4.2. Kvalitativno određivanje tvrdine	28
4.3. Morfološka svojstva i građa minerala	30
4.4. Asocijacija minerala	33
4.5. Dodatni test – nagrivanje	37
5. KVANTITATIVNA RUDNOMIKROSKOPSKA ISPITIVANJA	40
5.1. Optika reflektovane svetlosti	40
5.2. Kvantitativno merenje refleksije	41
5.3. Kvantitativno merenje mikrotvrdine	51

II Rudnomikroskopska svojstva minerala

6. Fe sulfidi	54
6.1 Pirit	55
6.2 Markasit	58
6.3 Pirotin	59
6.4 Arsenopirit	61
6.5 Lelingit	62
6.6 Ostali Fe sulfidi	63
7. Fe, Cr, Ti oksidi i hidroksidi	64
7.1 Hromit	66
7.2 Magnetit	67
7.3 Hematit	70
7.4 Ilmenit	71
7.5 Rutil	74
7.6 Getit	76
7.7 Lepidokrokrit	77
7.8 Limonit	78
7.9 Ostali Fe, Cr, Ti oksidi i hidroksidi	79

8. Cu minerali	81
8.1 Halkopirit	82
8.2 Bornit	83
8.3 Kovelin	84
8.4 Halkozin	85
8.5 Digenit	86
8.6 Tetraedrit i tenantit	87
8.7 Enargit	88
8.8 Luzonit	89
8.9 Bakar	90
8.10 Kuprit	91
8.11 Tenorit	92
8.12 Kubanit	93
8.13 Koluzit	94
8.14 Idait	95
8.15 Malahit i azurit	96
8.16 Ostali Cu minerali	97
9. Pb, Zn minerali	99
9.1 Sfalerit	100
9.2 Galenit	101
9.3 Pb sulfosoli	103
9.4 Burnonit	106
9.5 Ostali Pb-Zn minerali	107
10. Au, Ag, Pt minerali	109
10.1 Zlato	110
10.2 Au-Ag teluridi	112
10.3 Srebro	114
10.4 Akantit (argentit)	115
10.5 Ag sulfosoli	116
10.6 Platina	118
11. Bi, Sn, W, Mo, Nb-Ta, U minerali	119
11.1 Bizmut	120
11.2 Bizmutinit	121
11.3 Tetradimit i telurobizmutit	122
11.4 Kasiterit	123
11.5 Stanin	125
11.6 Šelit	126
11.7 Volframit	127
11.8 Molibdenit	128
11.9 Kolumbit i tantalit	129
11.10 Uraninit	130

12. Sb, As, Hg, Tl minerali	131
12.1 Antimonit	132
12.2 Ostali Sb minerali	133
12.3 Arsen	134
12.4 Realgar	135
12.5 Auripigment	136
12.6 Cinabarit	137
12.7 Minerali talijuma	138
13. Ni-Co minerali	139
13.1 Pentlandit	140
13.2 Bravoit	141
13.3 Milerit	142
13.4 Nikelin	143
13.5 Brajthauptit	144
13.6 Ramelsbergit	145
13.7 Saflorit	145
13.8 Kobaltin	146
13.9 Gerzdorfit	147
13.10 Ostali Ni-Co minerali	148
14. Mn minerali	151
14.1 Piroluzit	152
14.2 Ostali Mn minerali	153
15. Ostali minerali i druga jedinjenja	155
15.1 Ilvait	157
15.2 Grafit	158
LITERATURA	159
INDEKS MINERALA	161

1. ZNAČAJ I PRIMENA RUDNE MIKROSKOPIJE

Rudna mikroskopija predstavlja jednu od osnovnih disciplina u ispitivanju rudnih minerala i ruda generalno. Hemijskim analizama je moguće ustanoviti povišeni sadržaj određenog metala u mineralizovanim odnosno orudnjenim uzorcima. Međutim, kako bi se utvrdio način obrazovanja mineralizacije, vršila dalja prospekcija i planirala eventualna ekspatacija rude, neophodno je odrediti koji su minerali nosioci datog metala i koje su teksturne karakteristike ovih minerala. Upravo na ovakvim primerima mogu biti sagledani glavni ciljevi rudnomikroskopskih ispitivanja, a to su: 1) određivanje mineralnog sastava uzoraka ruda i mineralizovanih stena; 2) opis načina pojavljivanja minerala (veličina zrna, forma, bližnjenje, zonarnost i sl.); 3) utvrđivanje teksturnih odnosa i procesa obrazovanja minerala (prorastanje, zamenjivanje, izdvajanje i sl.).

Rudnomikroskopska ispitivanja imaju istaknuti značaj u tri oblasti geologije i rudarstva. Od značaja su za fundamentalnu mineralogiju (1), a naročito za određivanje procesa obrazovanja rude i genezu rudnih ležišta (2). Istovremeno su veoma bitna i sa aspekta pripreme mineralnih sirovina i valorizaciju rude (3), gde se posebno obraća pažnja na način pojavljivanja minerala. Ova poslednja svrha ispitivanja i detaljan opis minerala često bivaju zanemareni, mada brojni primeri pokazuju neophodnost dobre karakterizacije rudnih minerala. Na primer, halkopirit (nosilac bakra) u polimetaličnoj rudi može biti prisutan u vidu individualnih zrna, kada je moguće dobiti i koncentrat bakra, ali može biti vezan i samo za sfalerit, gde se javlja u vidu finih emulzionih zrna koje nije moguće zasebno separisati. Zatim, nije svejedno u kojem mineralu se javljaju fina (mikroskopska) zrna zlata i da li je ovaj mineral hemijski čist ili legiran npr. srebrom.

Rudna mikroskopija nalazi svoje mesto i u ispitivanju magmatskih, sedimentnih i metamorfnih stena koje sadrže neprovidne minerale, a isto tako i u proučavanju gvožđevitih meteorita, tehnogenih sirovina, produkata metalurgije i drugih sintetičkih materijala sa sadržajem neprovidnih faza.

Ova disciplina spada u metode svetlosnih mikroskopija koje koriste polarisanu svetlost na sličan način kao na primeru petrografskog mikroskopa. Generalno posmatrano, svetlosna mikroskopija podrazumeva ispitivanje optičkih osobina minerala koje on pokazuje u interakciji sa elektromagnetnim talasima iz vidljivog dela spektra. Kada svetlost dospe do površine minerala, deo svetlosti prolazi kroz mineral, deo biva reflektovan i deo svetlosti biva apsorbovan. Minerali koji veći deo svetlosti propuštaju su providni ili prozračni minerali i oni se posmatraju u propuštenoj svetlosti. S obzirom da većina petrogenih minerala pokazuje ovu karakteristiku, često se mikroskop za propuštenu svetlost naziva još i petrografski mikroskop.

S druge strane, minerali koji veći deo svetlosti reflektuju su neprovidni ili slabo prozračni minerali i oni se posmatraju u reflektovanoj svetlosti. Mikroskop za reflektovanu svetlost se naziva još i rudni mikroskop, s obzirom da se većina "rudnih" ili "neprovidnih" minerala ispituje na ovaj način. Ova dva termina donekle predstavljaju sinonime, ali ipak postoje određena odstupanja, budući da pojedini neprovidni minerali nisu istovremeno i rudni (npr. pirit), dok sa druge strane, neki rudni minerali nisu neprovidni već prozračni (npr. sfalerit i kasiterit).

Rudni mikroskopi su slični uobičajenim petrografskim mikroskopima u sistemima sočiva, polarizatora, analizatora i upotrebljenih dijafragmi. Međutim, razlikuju se u tome što imaju upadni svetlosni izvor

pozicioniran iznad stočića mikroskopa (tj. iznad ispitivanog preparata), dok se svetlosni izvor mikroskopa za propuštenu svetlost nalazi ispod stočića. Upravo ovako postavljen izvor svetlosti kod rudnih mikroskopa pruža mogućnost ispitivanja polirane površine neprovidnih minerala.

Pojedini prozirni rudni minerali, kao što su prethodno pomenuti sfalerit i kasiterit, pokazuju karakteristične optičke osobine kako u odbijenoj tako i u propuštenoj svetlosti. Iz tog razloga, ovi minerali mogu biti ispitivani i rudnim i petrografskim mikroskopom.

Često se nameće potreba za ispitivanjem teksturnih odnosa rudnih minerala i minerala jalovine, usled čega je poželjna upotreba kombinovanih mikroskopa za propuštenu i odbijenu svetlost. Priprema petrografskog preparata bez pokrovnog stakla i sa poliranom površinom omogućava istovremeno ispitivanje rudnih (neprovidnih) minerala i minerala jalovine (providnih i prozirnih minerala). Termin "minerali jalovine" se uobičajeno koristi u rudnomikroskopskom pregledu preparata. Pod ovim mineralima se podrazumevaju svi transparentni minerali (silikati, karbonati, sulfati i dr, odnosno petrogeni, alteracioni i prateći minerali) koji inače nisu i ne mogu biti predmet rudnomikroskopskih ispitivanja.

1.1 Dodatne metode ispitivanja rudnih minerala

Rudna mikroskopija, slično ostalim metodama ispitivanja minerala, ima određenih ograničenja po pitanju determinacije minerala. Postoje mnogi uzročnici otežanog prepoznavanja minerala pod rudnim mikroskopom, pri čemu se mogu izdvojiti četiri najčešća problema u prepoznavanju: 1) pojedini minerali nemaju dovoljno izrazite optičke i druge osobine na osnovu kojih bi bili pouzdano determinisani;

2) određeni minerali ili grupe minerala sličnog sastava pokazuju veoma slične optičke osobine usled čega se teško razlikuju među sobom (Pb sulfosoli, teseralni Ni-Co minerali i mnogi drugi primeri); 3) za pojedine minerale koji se retko javljaju u prirodi, nema dovoljno literaturnih podataka o njihovom mikroskopskom načinu pojavljivanja, a pored toga i većina istraživača nema dovoljno iskustva u njihovom prepoznavanju; 4) veoma fina zrna minerala veličina ispod 50 μm , a naročito ona ispod 10 μm , često ne mogu biti pouzdano determinisana.

Uzimajući u obzir prethodno navedene razloge otežanog prepoznavanja nekih minerala, potrebno je istaći da rudnomikroskopskim ispitivanjem nije neophodno prepoznati svaki mineral, ali je obavezno zapaziti prisustvo i "neidentifikovanog" minerala i opisati njegova svojstva i način pojavljivanja. Pritom, njegova identifikacija će se naknadno obaviti nekom drugom pogodnom metodom. Iz tog razloga se rudnomikroskopska ispitivanja često kombinuju sa drugim mineraloškim metodama ispitivanja minerala. Razvojem mnogih tehnika mikroanaliza poslednjih decenija, ovakva kombinovana ispitivanja su postala naročito pogodna. Dodatne analize se mogu vršiti direktno na rudnomikroskopskim preparatima, na određenim zrnima, pa čak i na delovima zrna veličine svega nekoliko mikrometara (određene zone, izdvajanja i sl.).

Među mnogim metodama koje mogu da se primene za determinaciju ili dodatnu karakterizaciju minerala, tri najčešće i najpogodnije metode koje se "nadovezuju" ili kombinuju sa rudnomikroskopskim ispitivanjem su: 1) skenirajuća elektronska mikroskopija sa energetsko-disperzivnim spektrometrom (SEM-EDS metoda); 2) rendgenska difrakcija; 3) mikro-raman spektroskopija, koja je u poslednje vreme

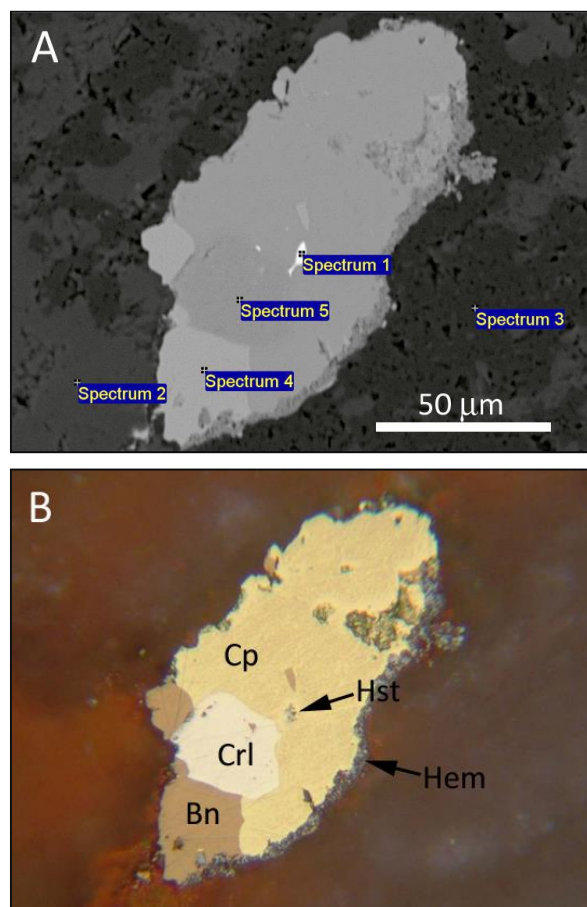
sve češće u upotrebi. S obzirom da je opis ovih metoda izvan sadržaja ovog udžbenika, za upoznavanje sa navedenim, ali i drugim metodama ispitivanja minerala, čitalac se upućuje na postojeću relevantnu literaturu. Iz tog razloga, dalje u tekstu će biti prikazane samo najznačajnije prednosti i ograničenja primene pomenutih metoda u rudnomikroskopskim istraživanjima.

SEM-EDS metoda. Na rudnomikroskopski pregled preparata najčešće se nadovezuje SEM-EDS metoda, naročito poslednjih decenija kada je razvojem mnogih SEM laboratorija, kako u svetu tako i kod nas, ova metoda postala dostupna mnogim istraživačima. SEM-EDS metoda je od neprocenjivog značaja kako za rudnomikroskopska, tako i za sva ostala mineraloška ispitivanja. Značaj i pogodnost primene ove metode u mineralogiji, kao i ispitivanju svih tipova materijala generalno, bazirani su na mogućnosti veoma lakog i brzog dobijanja mikrohemijskih analiza minerala i drugih čvrstih jedinjenja.

Na taj način, SEM-EDS metodom moguće je dobiti hemijski sastav svakog minerala, zatim, utvrditi prisustvo hemijskih primesa, odrediti intermedijarne članove izomornih serija u mineralima, ali takođe i utvrditi i dobro okarakterisati svaki tip hemijskih promena u mineralima (npr. zonarnost minerala). Ova metoda je naročito pogodna za utvrđivanje prisustva i identifikaciju minerala koji se u ispitivanom uzorku odnosno preparatu, javljaju u vidu veoma finih zrna, usled čega njihovo prisustvo često biva previđeno rutinskim rudnomikroskopskim ispitivanjem. Ovo je naročito značajno sa aspekta pojave minerala plemenitih metala, koji se obično i javljaju u veoma finim zrnima, a takav jedan primer detekcije hesita, Ag_2Te prikazan je na slici 1.

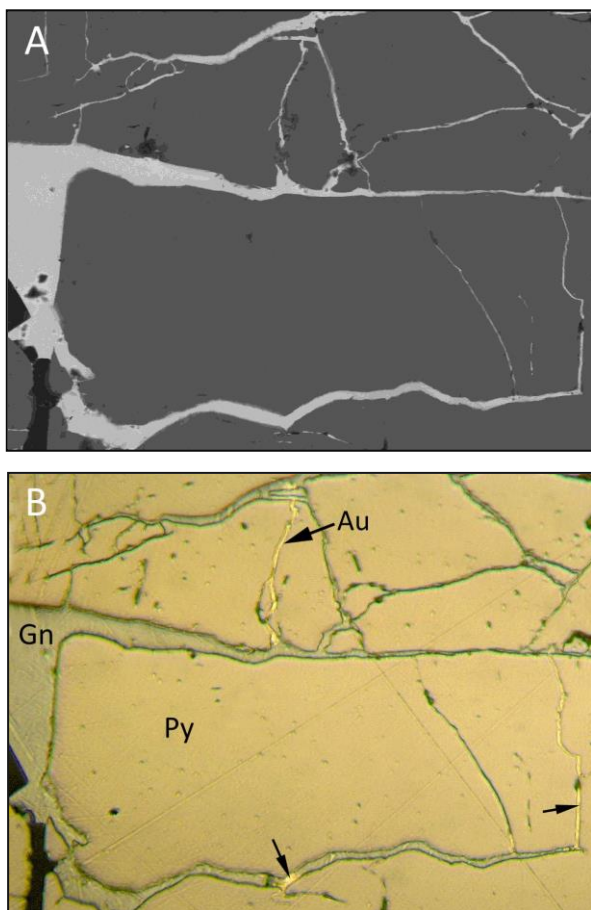
Međutim, ovakva "primamljivost" upotrebe SEM-EDS metode ima i svoju lošu stranu. Usled nedovoljnog poznavanja obe

metode, istraživači često "preskaču" rudnomikroskopski pregled smatrajući da SEM-EDS metodom mogu izvršiti kompletna ispitivanja. Ovakav pristup je veoma pogrešan, jer SEM-EDS u određenim asocijacijama minerala "ne vidi" neke minerale koji su inače lako uočljivi pod rudnim mikroskopom, što će biti prikazano na primerima u nastavku teksta. Pored toga, primenom SEM metode ne mogu da se zapaze pojedina svojstva minerala i neki teksturni odnosi.



Slika 1. Hesit (Hst) koji je lako uočljiv pod elektronskim mikroskopom (A – BSE slika), ne zapaža se pod rudnim mikroskopom, čak i sa većim uvećanjem i pri opservaciji u ulju (B – odbijena svetlost, ulje, //N) i veoma je sličan finostrukturnom hematitu (Hem) koji se javlja po rubu halkopirita (Cp) i bornita (Bn). S druge strane, karolit (CrI) koji je veoma uočljiv pod rudnim mikroskopom, prilično se teško razlikuje od halkopirita pod elektronskim mikroskopom. Oznake *Spectrum 1-5* na slici A označavaju mesta tačkastih analiza minerala.

Tako na primer, pored prethodno opisane identifikacije hesita, slika 1 pokazuje i prisustvo minerala karolita, CuCo_2S_4 koji je veoma jasno uočljiv pod rudnim mikroskopom. S druge strane, gotovo da i ne može biti zapažen rutinskim pregledom pod elektronskim mikroskopom, usled velike sličnosti u koeficijentu povratno-rasutih elektrona (*BSE*) sa halkopiritom sa kojim se javlja u asocijaciji. Iz ovog primera se može zaključiti da, bez obzira što se u većini slučajeva pregledi pod rudnim i elektronskim mikroskopom podudaraju, u pojedinim asocijacijama minerala ove dve metode mogu biti komplementarne, tj. da jedna dopunjava drugu. Pored navedenog primera,



Slika 2. Galenit (Gn) i zlato legirano srebrom (Au, strelice) cementuju pirit (Py) (A – *BSE* slika; B – odbijena svetlost, vazduh, //N; širina mikrografija ~ 0.6 mm). Zlato koje se veoma lako uočava rudnomikroskopskim pregledom, pod elektronskim mikroskopom (tj. na SEM-u) se ne zapaža u prisustvu galenita. Uzorak: Au-(Ag) ležište Grabova Reka, istočna Srbija.

postoji i niz drugih sličnih primera u kojima je primenom samo SEM-EDS metode previđeno prisustvo nekih minerala. Takav jedan primer predstavlja prisustvo zlata legiranog srebrom (varij. elektrum) pored galenita u kojem SEM “nije ustanovio” prisustvo ovako bitnog minerala (sl. 2), ili sledeći primer, razlikovanje magnetita i piritita, gde SEM “ne vidi” proces zamenjivanja, tj. piritizaciju magnetita.

Na kraju, treba još naglasiti nemogućnost razlikovanja polimorfnih minerala pod SEM-om, usled njihovog istovetnog hemijskog sastava, a takav broj slučajeva nije mali u rudnim ležištima – npr. pirit-markasit (FeS_2); luzonit-enargit (Cu_3AsS_4); rutil-anatas (TiO_2) i mnogi drugi.

Rendgenska difrakcija i *mikro-raman spektroskopija* (i ostale metode) koriste se kao pomoćne metode samo u određenim, specifičnim slučajevima. Na primer, rendgenska difrakcija je veoma korisna metoda u determinaciji minerala iz grupe sulfosoli, naročito Pb sulfosoli koji međusobno imaju veoma slične optičke karakteristike. Zbog sličnog hemijskog sastava i često veoma kompleksnih stehiometrijskih odnosa, njihova identifikacija je takođe otežana i mikrohemijom analizom koju SEM-EDS metoda pruža. Iz navedenih razloga se u ovim slučajevima često koristi rendgenska difrakcija za koju je potrebno nešto više materijala, tj. nešto veća zastupljenost određenog minerala.

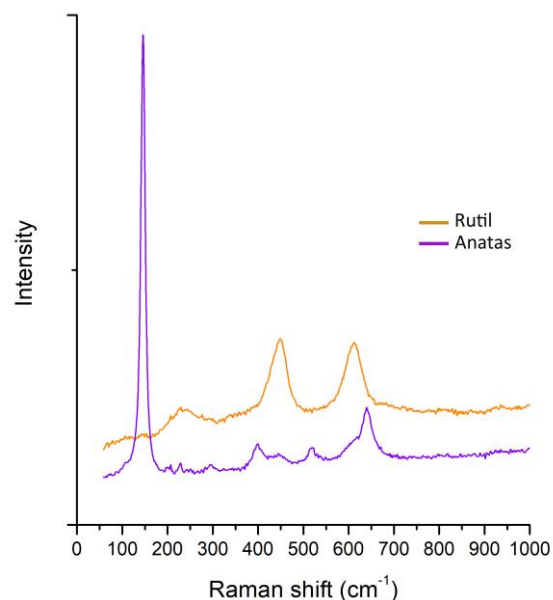
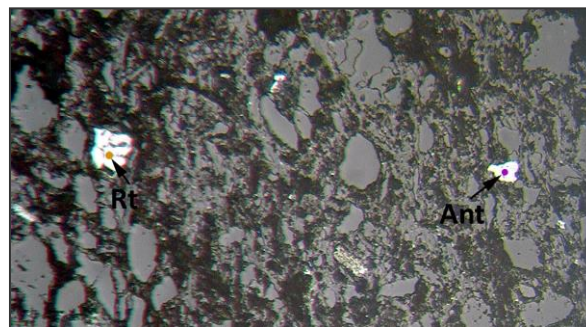
S druge strane, u slučaju veoma finih, odnosno veoma retkih zrna nekog minerala, potrebna je neka “*in situ*” mikroanaliza na preparatu, sa rezolucijom analize često i od svega nekoliko mikrometara. Ovakvu mogućnost pruža već opisana SEM-EDS metoda. Međutim, u nekim situacijama kada i ova metoda ne može biti od koristi (npr. razlikovanje polimorfnih minerala), identifikaciju minerala moguće je dobiti mikro-raman spektroskopijom. Takav primer

predstavlja razlikovanje rutila i anatasa, koji pokazuju karakteristične i različite raman spektre, a ne mogu sasvim pouzdano da se razlikuju pod rudnim mikroskopom, naročito u slučaju fino-zrnog načina pojavljivanja (sl. 3). Podrazumeva se, njihovo razlikovanje nije moguće SEM-EDS metodom.

Pored navedenog primera identifikacije minerala, ova metoda može biti značajna i za karakterizaciju načina pojavljivanja pojedinih hemijskih primesa u mineralima. Tako na primer, u slučaju pirita obogaćenog bakrom (do 8 mas.% Cu), ustanovljeno je pomoću ove metode da Cu izomorfno zamenjuje Fe u strukturi minerala (Pačevski *et al.* 2008). U drugom slučaju, ispitivanjem autigenih minerala retkih zemalja monacita i ksenotima u boksitima, ustanovljeno je da pojedine primese u ovi mineralima (Al, Fe i dr.) potiču od submikroskopskog (nanometarskog) prorastanja ovih minerala sa bemitom, hematitom i drugim mineralima (Radusinović *et al.* 2017).

Međutim, treba imati u vidu da mikro-raman spektroskopija ima ograničenu upotrebu u ispitivanju rudnih minerala, jer većina ovih minerala ili nije uopšte raman aktivno ili pokazuje veoma loše raman spektre sa slabim intenzitetima pikova, odnosno širokim pikovima. Tako na primer, jedinjenja sa metalnim tipom hemijske veze nisu uopšte raman aktivna. Da bi neki molekul bio raman aktivan, tj. da bi se dobili pikovi na raman spektru, potrebno je da usled neke molekulske vibracije dolazi do promene

polarizabiliteta molekula. Ova metoda je donekle slična, a u izvesnoj meri i komplementarna sa infracrvenom (IC) spektroskopijom, tako da je u većoj meri pogodnija za ispitivanje minerala jalovine (silikata, karbonata, sulfata, itd.).



Slika 3. Fina zrna rutila (Rt) i anatasa (Ant) koja se međusobno ne razlikuju na slici gore (odbijena svetlost, //N, širina mikrografije ~0.5 mm), pokazuju različite raman spektre (dole) koji su dobijeni tačkastim analizama (prikazano na slici). Uzorak: crveni permski pešćar istočne Srbije.

3. PRIPREMA PREPARATA

Pripremanje poliranih površina koje bi trebalo da budu bez ogrebotina, termičkih i mehaničkih promena površine uzorka, kao i bez reljefa*, suštinski je važno za ispitivanje, identifikaciju i teksturnu interpretaciju rudnih minerala korišćenjem mikroskopa za odbijenu svetlost. Primenom raznih automatizovanih i ručnih postupaka, a uz relativno mali napor, odgovarajuća polirana površina može da se dobije na mnogim materijalima (ukrasno kamenje u juvelirstvu, dekorativni kamen u građevinarstvu, legure u metalografiji, presek zuba u stomatologiji, pigmenti i delovi slika i fresaka u restauraciji, itd.). Pritom, jedinjenja od kojih su sačinjeni ovi materijali imaju uglavnom relativno uzan opseg tvrđine.

Međutim, kod uzoraka ruda mogu da se pojave problem u vezi tvrđine tokom poliranja i procedura pripreme preparata je nešto složenija. Zapravo, ovi uzorci su obično sačinjeni od mekih i često kovnih minerala iz grupe sulfida i u nekim slučajevima samorodnih metala, a koji često srastaju sa tvrdim i krtim mineralima kao što su kvarc, drugi silikati, oksidi ili čak i pojedini sulfidi, kao na primer pirit. Česte alteracije sulfidnih ruda, koje su inače nestabilne na atmosferskim uslovima usled oksidacije, unose dodatnu komplikaciju. Usled dezintegracije i odnošenja cementujućih i intersticijskih minerala, uzorak postaje porozan ili čak i trošan. Slaba vezanost pojedinih minerala odnosno komponenti, kao na primer naknadno zapunjavanje šupljina u uzorcima, takođe može da uzrokuje problem u pripremi preparata. Pored uobičajenih rudnih preparata i produkti pripreme mineralnih sirovina ispoljavaju njihove zasebne teškoće u

* Reljef je stepen neravnosti površine preparata koja se javlja usled intenzivnijeg poliranja (habanja) mekih faza u odnosu na čvrste faze tokom poliranja.

procesu poliranja, jer predstavljaju mešavine faza sa različitim fizičkim osobinama i veličinama zrna koje su često usled procesa mlevenja ruda veoma fine. Imajući sve navedeno u vidu, za dobijanje kvalitetnih poliranih površina je potrebno, osim odgovarajućih tehničkih uslova, veliko iskustvo lica koje obrađuje uzorke i vrši pripremu preparata.

Razvoj polarizacionih mikroskopa koji se odrazio na dizajniranje i povećanje performansi, kao i sve češća upotreba kombinovanih polarizacionih mikroskopa na kojima se vrše ispitivanja i u propuštenoj i u odbijenoj svetlosti, uslovio je shodno tome, pored klasičnih *rudnih preparata* i potrebu za izradom *kombinovanih, tj. poliranih petrografskih preparata*. Ovi preparati mogu istovremeno da se pregledaju i u propuštenoj i u odbijenoj svetlosti. S obzirom da su ovi kombinovani preparati, kao i svi drugi polirani preparati, istovremeno podesni i za ispitivanja na skenirajućem elektronskom mikroskopu, za njih se ponekad koristi nadimak "3 u 1" preparati. U odnosu na klasični rudni ili petrografski preparat, ovaj tip preparata pruža mogućnost sagledavanja teksturnih odnosa rudnih minerala i pratećih minerala jalovine, što je naročito značajno za odredbu redosleda deponovanja i paragenetskih odnosa svih minerala u asocijaciji. Treba još pomenuti potrebu za pripremom tzv. *dvostrano poliranih preseka (double polished sections)* u nekim specifičnim istraživanjima, pre svega u ispitivanju fluidnih inkluzija. Ovaj tip preparata zapravo predstavlja prethodno opisani polirani petrografski preparat koji je ispoliran i sa druge strane i zatim skinut sa predmetnog stakla. Još jedan specifični tip pripreme preparata predstavlja *polirani preparat nevezanog finozrnog materijala* koji se najčešće koristi u ispitivanju teških frakcija nevezanih sedimenata (šlihovi) i u procedurama pripreme mineralnih sirovina.

U ovom drugom slučaju, vrše se ispitivanja raznih granulometrijskih frakcija nakon mlevenja rude i separacije, kao i finalno dobijenih koncentrata rudnih minerala. Ovaj tip preparata može se koristiti takođe i u ispitivanju pojedinačnih minerala separisanih iz uzoraka stena i ruda.

U različitim laboratorijama za pripremu preparata, procedure pripreme se obično razlikuju u pojedinim detaljima i zavise, odnosno prilagođene su vrsti materijala koji se ispituje i ciljevima istraživanja. Pojedini specifični ciljevi ispitivanja i tipovi preparata pomenuti su u prethodnom pasusu. Međutim, u svakoj pripremi preparata, kako od kompaktnih delova ruda i stena tako i od nevezanih fino-zrnih uzoraka, generalna procedura podrazumeva sledeće korake:

- odsecanje uzoraka (ovaj korak se preskače u slučaju pripreme nevezanih uzoraka).
- impregnacija i izlivanje preparata
- brušenje i poliranje

Svaki od ovih koraka pripreme preparata detaljno je opisan u nastavku teksta. Ovde je još neophodno skrenuti pažnju na to, da je veoma bitno da prilikom pripreme preparata ne dođe do bilo kakve promene u materijalu koji se ispituje. Tačnije, mineralni sastav i teksturne karakteristike uzorka se moraju sačuvati i verodostojno prikazati nakon ispitivanja. Najčešće promene do kojih može doći tokom pripreme su:

1) kontaminacija uzorka tokom sečenja, brušenja ili poliranja. Kontaminaciju čine fina zrna abraziva (npr. SiC) koji se koristi u brušenju i poliranju ili fini opiljci metala i legura koji potiču od opreme za pripremu (reznna ploča, držači uzorka, itd.). Na primer, neki delovi opreme za poliranje često su napravljeni od mesinga (ZnCu legura) i fina zrna, tj. opiljci mesinga mogu biti utisnuti u preparat tokom pripreme. Ovakva fina zrna mesinga veoma liče na zlato, usled čega može da se napravi ozbiljna greška u pogledu prisustva zlata u uzorku.

2) Selektivno rastvaranje pojedinih komponenti pod dejstvom reagensa koji se koriste u toku pripreme. Voda se uobičajeno koristi u raznim koracima pripreme preparata (npr. tokom sečenja, čišćenja, itd.). Faze rastvorne u vodi (npr. hloridi, sulfati pojedinih metala, itd.) će biti selektivno izgubljene usled čega će utvrđeni mineralni sastav i teksturne karakteristike uzorka biti nepotpuni.

3) Fazne transformacije izazvane zagrevanjem ili mehaničkim dejstvom. Pojedini sulfidi, kao na primer minerali iz Cu-S binarnog sistema anilit, Cu_7S_4 i đurleit, $Cu_{31}S_{16}$, transformišu se na temperaturama ispod $100^{\circ}C$. Takođe, mnogi sekundarni minerali, najčešće sulfati iz oksidacionih zona, mogu da sadrže različiti broj molekula vode (npr. melanterit, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$; siderolit, $FeSO_4 \cdot 5H_2O$; somolnokit, $FeSO_4 \cdot H_2O$ i dr.) koji lako bivaju odstranjeni tokom zagrevanja, usled čega se menja i sastav, a time i sami mineral. Pored minerala za koje je poznato da nisu stabilni na povišenim temperaturama, za mnoge minerale termička stabilnost i nije dovoljno poznata. Uz fazne promene, zagrevanje uzorka ili mehaničko dejstvo (pritisak) tokom poliranja, mogu prouzrokovati i pojavu bližnjnja ili izdvajanja u ovim mineralima.

Ove i druge promene u ispitivanom materijalu mogu dovesti do pogrešnih zaključaka tokom istraživanja, ponekad i do veoma ozbiljnih grešaka. Iz tog razloga, u nastavku teksta će u više navrata biti skrenuta pažnja na mogućnosti pojave ovakvih neželjenih promena u materijalu za određene korake pripreme preparata.

Odsecanje uzorka. Uzorci ruda i stena se uobičajeno seku i odsecanju dijamantskim reznim pločama. Usled trenja tokom sečenja dolazi do zagrevanja uzorka (opasnost od zagrevanja!). Iz tog razloga je neophodno sprovesti vodeno hlađenje tokom sečenja, pri čemu je najefikasnije dovesti fini mlaz vode na kontakt rezne ploče i uzorka. Pored

hlađenja, voda vrši i podmazivanje tokom sečenja, usled čega se smanjuje drobljenje i pucanje površina odsecanja. Ukoliko se sumnja da uzorak sadrži faze koje su rastvorne u vodi, neophodno je sprovesti ovaj postupak i neke naredne korake (npr. ispiranje) upotrebom odgovarajućeg nereaktivnog fluida (različiti tipovi ulja, alkohol, etar, itd.) umesto vode.

U svakom slučaju, na kraju ovog koraka pripreme potrebno je očistiti površinu odsečka i odstraniti lubrikant nakon sečenja tj. osušiti uzorak, bilo da je korišćena voda ili neki drugi nereaktivni fluid. U protivnom, u naknadnim koracima impergnacije i livenja može doći do reakcije ovog fluida sa impregnacionim sredstvom i/ili sredstvom koje se koristi za livenje. Pored toga, zarobljeni fluid može kasnije da izbije na površinu i napravi ozbiljne probleme tokom analize na sofisticiranim instrumentima koji podrazumevaju rad u visokom vakumu, kao što je to na primer skenirajući elektronski mikroskop.

Impregnacija i izlivanje preparata. Nakon odsecanja komada uzorka zadovoljavajućih dimenzija i sa jednom ravnom površinom odsečka koja će dalje biti polirana, sledeći korak podrazumeva impregnaciju ovog komada. Ovaj korak impregnacije radi se u cilju zapunjavanja i cementovanja svih praznih prostora, tj. pora i prslina u uzorku, a može da se preskoči samo u slučaju veoma kompaktnog uzorka koji je gotovo bez poroznosti. Bitno je izvršiti impregnaciju uzorka kako se ne bi drobio tokom narednih koraka pripreme, iz sledećih razloga. Drobljenjem uzorka tokom poliranja došlo bi do kontaminacija ploča za poliranje zdrobljenim materijalom sa uzorka i usled toga, finalno polirana površina preparata bi bila nezadovoljavajućeg kvaliteta. Dodatni razlog je taj što se impregnacijom odnosno cementacijom šupljih prostora značajno umanjuje mogućnost kontaminacije uzorka tokom dalje pripreme.

Impregnacija se postiže uranjanjem isečka uzorka u viskozno impregnaciono sredstvo, a najčešće se obavlja u toku izlivanja ovog isečka u kalup. Za impregnaciju, kao i za sledeći korak izlivanja, koriste se organski polimeri. U principu, najbolje je koristiti hladno-polimerizujuće materijale, a danas su najčešće u upotrebi razni tipovi epoksidnih smola. Ovi dvokomponentni polimerizujući materijali se uglavnom sastoje od dve tečnosti, smola (*resin*) i očvršćivač (*hardener*) koje je potrebno promešati u određenoj proporciji (npr. 2:1), pri čemu do polimerizacije odnosno očvršćavanja dolazi nakon mešanja. Epoksidne smole generalno pokazuju malo skupljanje tokom očvršćavanja i veliku adhezivnu čvrstoću, što ih čini pogodnim za ove namene. Postoje i druge karakteristike (viskozitet, boja smole, vreme vezivanja, itd.) koje mogu da se razlikuju kod različitih tipova smola. Istraživač treba da obrati pažnju na sve ove osobine kako bi odabrao impregnaciono sredstvo sa karakteristikama koje će zadovoljiti potrebe pripreme preparata i istraživanja. Na primer, izaberi epoksidnu smolu koja ima veoma nizak viskozitet kako bi u što boljoj meri penetrirala i impregnirala i najfinije pore i prslina; da bude bezbojna (ili ukoliko tokom ispitivanja uzorka želimo da trasiramo pore i pukotine, da bude u određenoj boji); da bude sporovezujuća, tj. da vreme očvršćavanja na sobnoj temperaturi bude nekoliko sati (npr. 12 sati) kako bi obezbedili dobru impregnaciju i imali vremena da bez žurbe sprovedimo proceduru pripreme; da bude u potpunosti hladnovezujuća, tj. da tokom polimerizacije ne dolazi do egzotermnih reakcija.

S druge strane, za hitnu pripremu preparata iz nekog razloga, često se koristi akrilat – dvokomponentni polimer koji se sastoji od čvrste praškaste komponente i tečne komponente. Ovaj polimer očvršćava za svega nekoliko minuta, ali tokom polimerizacije javlja se egzotermna reakcija,

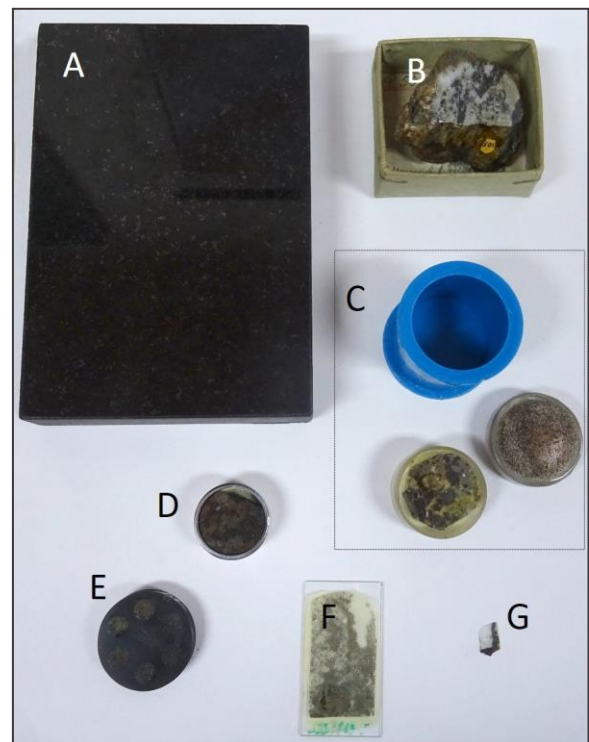
usled čega dolazi do umerenog zagrevanja uzorka. Pored toga, akrilat nema dovoljno nizak viskozitet kako bi u zadovoljavajućoj meri impregnirao porozne uzorke.

U nekim laboratorijama impregnacija se vrši u vakumu na nekoliko minuta, u cilju "povlačenja" vazduha iz šupljina u uzorku. Pri ovom postupku dolazi do dubljeg prodiranja impregnacionog sredstva u prsline i pore. Međutim, treba biti oprezan prilikom upotrebe vakuma, jer pojedina impregnaciona sredstva u vakumu pokazuju reakciju nalik ključanju.

Za razliku od petrografskog preparata koji je standardizovanih dimenzija, naročito u pogledu debljine koja je u opsegu 0.02-0.03 mm, rudni preparati nemaju striktno određene dimenzije. Iz tog razloga mogu da se u velikoj meri razlikuju prema obliku i veličini, a neki primeri dati su na slici 6. Ranije su preparati pripremani uglavnom bez standardizovanih dimenzija i zapravo su to bili isečci uzoraka koji su nepravilnog oblika i ispolirani sa jedne strane (sl. 6B). Ovakvi preparati nisu izliveni u kalupe, ali su zato impregnirani potapanjem u posudu sa impregnacionim sredstvom. Jedno od najčešće korišćenih sredstava za impregnaciju tokom ove pripreme bio je šelak, a impregnacija se vršila "kuvanjem" uzoraka u rastvorenom šelaku na oko 100 °C. Danas se takođe koristi ovaj postupak impregnacije, naročito u procesu pripreme petrografskih preparata. Međutim, ovaj način pripreme podrazumeva značajno zagrevanje uzorka, što može izazvati ranije opisane fazne transformacije pojedinih minerala.

Razvoj mnogih metoda mikroanaliza (elektronska mikroanaliza, mikro-raman spektroskopija, itd.) koje su poslednjih godina sve dostupnije istraživačima, omogućio je da se nakon pregleda pod rudnim mikroskopom isti preparat koristi i za druge mikroskopske metode ispitivanja.

Upotreba određenih nosača uzorka standardizovanih dimenzijama u pomenutim sofisticiranim metodama mikroanaliza, uslovljava i standardizaciju dimenzija rudnomikroskopskih preparata. Obično su to veličine preparata prečnika od 2.5 do 3.5 cm koje ujedno zadovoljavaju i potrebe rudnomikroskopskog pregleda uzoraka.



Slika 6. Različiti oblici rudnih i drugih poliranih preparata i kalupa za njihovo livenje: A – polirani dekorativni kamen; B – rudnomikroskopski preparat proizvoljnog oblika (uglavnom ranija izrada preparata); C – preparati rude (levo) i nevezanog uzorka (desno) prečnika 3 cm izliveni u kalupu (plavi kalup) i istisnuti iz kalupa; D, E – preparati sa kalupima kao sastavnim delovima (D – preparat rude, prečnika 2.5 cm, E – 6 komora prečnika 5 mm za nevezane uzorke, pogodan npr. za ispitivanje teških frakcija nakon elektromagnetne separacije ili utapanja pojedinačnih kristalića ručno separisanih iz uzorka); F – polirani petrografski preparat; G – dvostruko polirani presek (*double polished section*) za ispitivanje fluidnih inkluzija.

Standardizacija dimenzija preparata se relativno lako postiže postavljanjem prethodno pripremljenog isečka uzorka u kalup standardizovanog oblika i

veliĉine i cementovanjem razliĉitim organskim, uglavnom dvokomponentnim polimerizujućim vezivima. Ova veziva su najĉešće ista ona koja se koriste i za impregnaciju uzoraka, kao na primer prethodno opisane epoksidne smole. Starije procedure, koje koriste kao vezivo bakelit, takođe zahtevaju povišene temperature i pritiske usled ĉega se više gotovo i ne koriste, mada su u nekim, naroĉito metalurškim laboratorijama još uvek u upotrebi.

Kalupi mogu da budu razliĉiti po obliku što zavisi od potrebe istraivanja, a ĉesto istraivaĉi i sami prave i koriste kalupe određenih dimenzija prema svojim potrebama. Kalupi su najĉešće od tvrde plastike, ponekad od metala, a generalno ih možemo podeliti u dva tipa; prvi tip predstavljaju kalupi iz kojih se istiskuje preparat i koji se više puta koriste za izlivanje preparata, dok drugi tip predstavljaju kalupi koji ostaju kao sastavni deo preparata nakon izlivanja. Ovi tipovi kalupa su takođe prikazani na slici 6.

Brušenje i poliranje. Nakon prvih koraka pripreme, tj. odsecanja, impregnisanja i izlivanja u kalup, preparat se dalje brusi i polira. U većim laboratorijama se obiĉno koriste automatizovane mašine za brušenje i poliranje koje imaju mogućnost istovremene pripreme više preparata (npr. 5, 6 ili 8 preparata). S druge strane, manje laboratorije su obiĉno opremljene manjim mašinama na kojima je moguće brusiti i polirati samo jedan preparat (tj. jedan po jedan).

Svrhe brušenja su sledeće: 1) ukloniti vezivajuće sredstvo kojim je vršeno izlivanje (najĉešće epoksidna smola) sa površine koja treba biti ispolirana ("otvaranje preparata"); 2) odstraniti površinsku zonu deformacija i neravnine na površini nastale u toku seĉanja; 3) pripremiti glatku ravnu površinu za dalji postupak poliranja.

Za postupak brušenja, kao i za naredni postupak poliranja, koriste se razna abrazivna sredstva, a to su obiĉno sintetiĉka jedinjenja visoke tvrdine. Za brušenje je najĉešće u upotrebi SiC (silicijum karbid), mada se takođe koriste i Cr₂O₃ (hrom oksid) i MgO (magnezijum oksid). Veliĉina zrna ovih abraziva može biti oznaĉena u razliĉitim jedinicama – mešima (*mesh*), gritima (*grit*), ili mikronima (*micron*), a odnosi ovih jedinica prikazani su u tabeli 1.

Abrazivna zrna mogu biti fiksirana (zalepljena) za podlogu i ova vrsta abraziva predstavlja vezane abrazive, a najĉešće su u upotrebi razne vrste šmirgli. Takođe brušenje može da se obavlja i upotrebom nevezanih abraziva kod kojih su abrazivna zrna slobodna (nevezana), a nanose se u vidu abrazivnih pasti na neku podlogu, uglavnom na rotirajući metalni disk.

Tabela 1. Odnosi veliĉine zrna abraziva u mešima prema veliĉini zrna datoj u mikronima, tj. mikrometrima, μm (Craig & Vaughan, 1994).

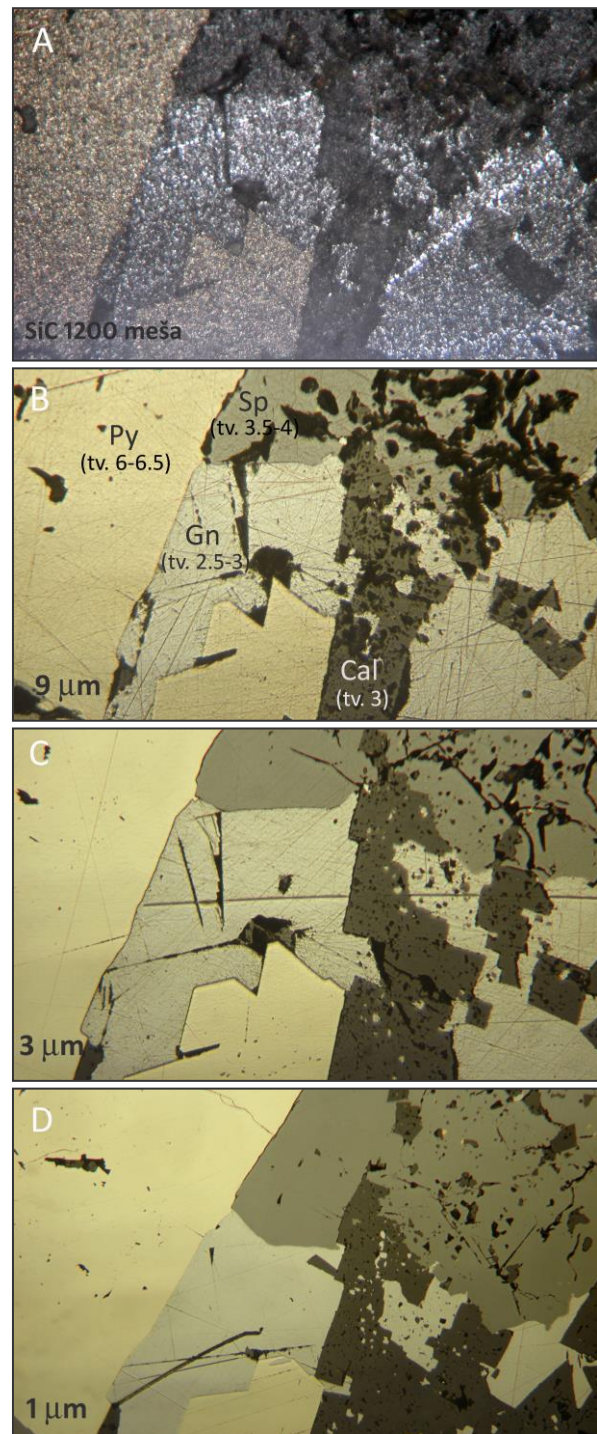
Meši (\approx griti)	Mikroni
100	150
200	75
260	60
325	45
400	38
600	30
1 200	15
1 800	9
3 000	6
8 000	3
14 000	1
60 000	1/2
120 000	1/4

U svakom sluĉaju, bez obzira na tip abraziva koji se koristi, neophodno je spreĉiti zagrevanje uzorka usled velikog trenja. To se postiže upotrebom vode ili nekog drugog nereagujućeg lubrikanta tokom brušenja, koji pored hlađenja i podmazuje podlogu, a time olakšava postupak brušenja. U narednom postupku poliranja se u ove svrhe kao lubrikanti koriste razna sintetiĉka ulja.

Nakon svakog koraka brušenja (i kasnije poliranja) neophodno je dobro oprati preparat, u nekim slučajevima čak i upotrebom ultrazvučne kadice, kako ne bi došlo do kontaminacije finijeg abraziva u narednom koraku, grubljim abrazivom iz prethodnog koraka. Kada nisu u upotrebi, podloge na koje su naneti abrazivi (na jednoj podlozi, jedan abraziv određene granulacije) obavezno treba držati poklopljene, kako bi se izbegla kontaminacija "zalutalim" česticama.

Ukoliko je uzorak relativno tvrdi, odnosno sadrži minerale visoke tvrdine (npr. mineralizacije u kvarcnim žicama i sl.), najbolje je započeti brušenje grubljim abrazivom (npr. od 200 do 400 meša). Ukoliko je uzorak relativno mekši (npr. masivna Pb-Zn ruda), brušenje može biti započeto i finijim abrazivom (npr. 600 meša). Nakon prvih koraka brušenja, kod poroznih uzoraka, uklanjanjem površinskog impregnisanog sloja mogu se ponovo pojaviti pore i šupljine na površini. U tom slučaju potrebno je zapuniti ove šupljine, odnosno impregnirati samo površinu preparata. U nekim slučajevima kada su uzorci veoma porozni ili čak i trošni, potrebno je i više puta ponoviti ovaj postupak zapunjavanja površine nakon svakog koraka brušenja. Postupak brušenja je moguće i završiti upotrebom abraziva od 600 meša, mada se najčešće koristi još jedan finiji abraziv u opsegu od 800 do 1200 meša. Nakon brušenja površina preparata ima mat sjaj, a jedan od tipičnih primeraka rude posle ovog koraka pripreme prikazan je na slici 7A.

Dalje uglačavanje površine preparata finijim abrazivima zapravo predstavlja proces poliranja preparata. Mada, granica između koraka brušenja i poliranja nije uvek jasno određena, naročito u slučaju upotrebe šmirgli sa finijim abrazivima i do nekoliko hiljada meša. Poliranje generalno možemo podeliti na grubo i fino poliranje. Za grubo



Slika 7. Asocijacija minerala različitih tvrdina (tv.) koji su česti u rudnim preparatima – pirit (Py), sfalerit (Sp), galenit (Gn) i min. jalovine kalcit (Cal), nakon sledećih koraka brušenja i poliranja: A – SiC 1200 meša; B-D dijament, B – 9 μm; C – 6 i 3 μm; D – 1 μm (vazduh, //N, širina mikrografija ~0.7 mm). Napomena: usled kontaminacije ploče na poslednjem koraku poliranja došlo je do oštećenja polirane površine, zbog čega su ponovljeni koraci poliranja sa 6, 3 i poslednji na 1 μm na novoj ploči, ali iz tog razloga granice zrna na slici 7D su delimično izmenjene.

poliranje koriste se abrazivi sa veličinom zrna od 15 do 6 μm (može i samo jedan korak, npr. 9 μm) i ovim postupcima poliranja većina odnosno gotovo sve preostale zone površinskih deformacija bivaju uklonjene (sl. 7B). Finalno poliranje se obično obavlja u dva koraka, na primer sa abrazivom veličine zrna 3 i 1 μm , kao što je to prikazano na slikama 7C i 7D. Pritom se skoro uvek podrazumeva upotrebu abraziva od 1 μm , kojim se dobija visokokvalitetna polirana površina gotovo bez prisutnih ogrebotina. Treba obratiti pažnju da su u asocijaciji minerala prikazanoj na slici 7, tvrdi minerali pirit i sfalerit relativno dobro ispolirani već na koraku 3 μm (pirit delimično već i na 9 μm), dok je najmekši galenit dobro ispoliran tek nakon koraka od 1 μm . U finalnom poliranju često se ubacuju i dodatni koraci poliranja, naročito naknadni koraci sa abrazivima 0.5, 0.25, 0.1 i/ili čak 0.05 μm . Bez obzira na sve moguće kombinacije upotrebe abraziva, osnovni postupak poliranja preparata, nakon završnog brušenja sa abrazivom 1200 meša, podrazumeva 3 koraka poliranja sa upotrebom abraziva od 9, 3 i 1 μm .

Međutim, pored navedenih osnovnih koraka poliranja u različitim laboratorijama su razvijene i različite procedure poliranja koje obično obuhvataju i dodatne međukorake, odnosno dodatno finalno poliranje finijim abrazivom. Na primer, najbolje bi bilo da cela garnitura za poliranje preparata obuhvata 6 koraka od 15, 9, 6, 3, 1 i 0.5 μm . Ovakav celokupni postupak je poželjan u slučaju kompleksnog mineralnog sastava uzorka koji obuhvata širok opseg tvrdina minerala od kvarca i pirit (tv. 6-7), pa sve do najmekših minerala npr. molibdenita (tv. 1-1.5). Ukoliko uzorak sadrži samo relativno tvrde minerale, slobodno se može izostaviti završni korak od 0.5 μm i možda koraci od 1 i/ili 3 μm , a ako sadrži pretežno mekše minerale može se izostaviti npr. korak od 15 i/ili 9 μm , kako bi se uštedelo na vremenu potrebnom za pripremu preparata.

Pojedine informacije o mineralima mogu se dobiti na delimično ispoliranom preparatu, tj. u toku grubog poliranja, a da zatim bivaju izgubljene celokupnim, odnosno finalnim poliranjem. Na primer, kod izotropnih minerala u poliranim preparatima uglavnom nije moguće odrediti granice zrna unutar nekog agregata. Međutim, nakon poliranja preparata samo sa abrazivom 15 ili 9 μm moguće je videti pravce cepljivosti, a time i orijentaciju zrna, ili, nakon poliranja sa abrazivom 6 μm moguće je videti granice zrna. Sve ove karakteristike bivaju "izbrisane" nakon finog, odnosno finalnog poliranja.

Najčešće korišćeni abraziv je, podrazumeva se, dijamant i koristi se u opsegu od 15 do 1 μm . Takođe se upotrebljava i za najfinija poliranja (npr. dijamantska suspenzija sa veličinom zrna od 0.1 μm), mada su u ovom postupku najfinijeg poliranja često u upotrebi i drugi abrazivi, a pre svih glinica, tj. Al_2O_3 granulacije $\leq 0.5 \mu\text{m}$. U pojedinim laboratorijama, za finalno poliranje su u upotrebi i drugi abrazivi, a često su to oksidna jedinjenja kao na primer cerijum oksid i hrom(III) oksid (Cr_2O_3). Ovaj poslednji je sintetičko jedinjenje zelene boje (koristi se i kao pigment), sa strukturom korunda usled čega ima visoku tvrđinu (tv. 8-8.5) isto kao i njegov analog u prirodi, redak mineral eskolait, tamnozeleno do crne boje. (Napomena: potrebno je znati koji su sve abrazivi upotrebljeni tokom pripreme preparata kako bi se tokom ispitivanja prepoznala eventualna kontaminacija uzorka).

Pomenuti abrazivi se nanose najčešće u vidu pasti na specijalne glatke tkanine (podloge) koje su zalepljene (ili postavljene) na metalne ploče odnosno diskove. Naravno, za svaku granulaciju se koristi zaseban disk sa podlogom, a kada nisu u upotrebi obavezno se čuvaju u čistim zatvorenim kutijama, kako je već ranije napomenuto. Naneta zrna abraziva uglavljaju se u ove specijalne tkanine usled čega su delimično fiksirana

tokom poliranja. Postoje različiti tipovi ovih specijalnih tkanina pri čemu svaki od njih pokriva određeni opseg granulacije abraziva. Iz tog razloga često se razlikuju tkanine tj. podloge za grubo i za fino poliranje. Pojedine laboratorije umesto ovih specijalnih tkanina koriste užljebljene ploče od livenog gvožđa ili drugih metala kao podlogu na koju se nanose abrazivi kako u proceduri brušenja tako i za poliranje.

Posebnu vrstu poliranja predstavlja *vibropoliranje* koje je efikasna i relativno jednostavna procedura u finalnom poliranju raznih tipova uzoraka. Ovakav način poliranja, uz upotrebu vibropolirajućih mašina, odvija se u prisustvu vodenog rastvora koji sadrži male količine glinice $<0.5 \mu\text{m}$. Nedostatak ovog način poliranja je u tome što je na poliranim površinama u velikoj meri istaknut reljef minerala.

U metalurgiji i u manjoj meri u mineralogiji, konvencionalne metode poliranja se ponekad dopunjavaju elektrolitskim i hemo-mehaničkim tehnikama poliranja. *Elektrolitskim poliranjem*, elektroprovodni uzorci koji su prethodno brušeni samo do 600 meša, poliraju se abrazivom $0.05 \mu\text{m}$ Al_2O_3 koji je suspendovan u elektrolitskom fluidu. Uzorak i podloga za poliranje (disk) su povezani u strujnom kolu na takav način da uzorak predstavlja anodu, a podloga katodu.

Priprema preparata od nevezanih zrna. Kao što je već navedeno na početku ovog poglavlja, rudnomikroskopska i druga mikroskopska ispitivanja se često vrše i na nevezanim fino-zrnim materijalima ili čak i na pojedinačnim separisanim zrnima. Najjednostavniji i najčešće primenjivani način koji se koristi za teške frakcije nanosa, koncentrate i druge slične materijale, jeste uzimanje špatulom određene količine materijala iz kesice (pri čemu treba da se vodi računa o reprezentativnosti materijala!) i postavljanje na dno kalupa koji se zatim napuni vezivajućim (impregnacionim)

sredstvom. Finozrne materijale je zatim potrebno promešati kako bi sva zrna bila međusobno razdvojena i impregnisana, nakon čega se materijal opet staloži. Moguće je takođe prvo naliti u kalup vezivajuće sredstvo, a zatim sipati nevezani materijal koji će pasti na dno kalupa. U oba slučaja, treba voditi računa da ne dođe do gravitacione separacije ili neke druge razlike u taloženju čestica, odnosno minerala. Ukoliko je materijal takav da do separacije ipak dolazi, potrebno je nakon očvršćavanja napraviti poprečni presek preparata koji će dalje biti poliran i ispitivan.

Ponekad je potrebno napraviti preparat od samo jednog zrna (npr. određeni fini kristal koji je bio podvrgnut ispitivanju rendgenskom difrakcijom na monokristalu) ili svega nekoliko separisanih zrna određenog minerala (npr. zrna zlata iz nanosa ili separisana zrna cirkona za određivanje starosti). Najefikasniji način ovakve pripreme jeste postavljanje, tačnije lepljenje zrna na čvrstu i ravnu podlogu, preko koje se zatim takođe zalepi kalup i nalije vezivajuće sredstvo. Za ovakvu podlogu se najčešće koristi staklena pločica preko koje se zalepi dvostrano-lepljiva traka. Međutim, s obzirom da je nakon očvršćavanja preparata potrebno lomiti staklenu pločicu kako bi se oslobodila površina koju dalje treba polirati, često se koriste druge ravne podloge koje je kasnije lakše ukloniti. Drugi način pripreme ovako separisanih zrna jeste njihovo postavljanje na površinu "praznog" poliranog preparata preko koje se zatim nalije nekoliko kapi vezivnog sredstva.

Upotrebom termolabilnog lepka (i drugih sličnih materijala) moguće je nedestruktivno i orjentisano poliranje kristala odnosno određenih preseka ili pljosni kristala. Termolabilni lepak se samo delimično zagreje kako bi postao delimično viskozan i pokazivao plastična svojstva nalik plastelinu. Zatim se kristal ručno blago uroni u lepak tako da se određeni pravac kristala koji je

potrebno polirati postavi u približno horizontalni položaj, a pod presom dovede u idealno horizontalan položaj, slično postavljanju rudnog preparata na plastelin pre rudnomikroskopskog pregleda. Kada se lepak ohladi i očvrsne, uzorak, tj. kristal može da se montira na mašinu za poliranje i ispolira. Nakon poliranja, ponovo se blago zagreje kako bi lepak postao opet viskozan i kristal odstranio i zatim očistio odgovarajućim rastvaračem.

Priprema poliranih petrografskih preparata i dvostrano poliranih preseka. Petrografski preparati sa pokrovnim staklom su ranijih decenija predstavljali standardni tip pripreme uzorka u petrografskom ispitivanju. Ipak, usled sve veće potrebe za ispitivanjem takođe i neprovidnih minerala u steni, kao i mogućnosti analiziranja minerala u preparatu upotrebom elektronske mikroskopske (ili SEM-EDS metode), sve češće se u laboratorijama pripremaju polirani petrografski preparati. Ovi preparati se pripremaju jednostavno poliranjem gornje nepokrivene površine preparata. Pritom, treba voditi računa da se prilikom odsecanja i stanjivanja odnosno brušenja preparata na kraju ostavi nešto deblji presek,

kako bi se nakon postupka poliranja kojim se takođe skida fini mikrometarski sloj sa površine, finalno dobila debljina preparata takođe od ~0.03 mm.

Dvostrano polirani preseki koji se koriste uglavnom za ispitivanje fluidnih inkluzija pripremaju se na sličan način. Međutim, površina koja se lepi na predmetno staklo najpre je ispolirana kao rudni preparat, a zatim zalepljena termolabilnim lepkom ili lepkom koji je rastvoran u određenim organskim rastvaračima. Postupak se dalje nastavlja po proceduri pripreme poliranog petrografskog preparata kojom je ispolirana i gornja površina preparata. Pritom se za ispitivanje fluidnih inkluzija koriste deblji preseki, obično u opsegu od 0.1 do 0.5 mm, ponekad i deblji u slučaju potpuno providnih minerala. Presek treba da bude takav da ima dovoljnu debljinu kako inkluzije ne bi bile oštećene, a s druge strane da ne bude suviše debeo kako bi mineral nosilac inkluzija ostao transparentan u propuštenoj svetlosti. Na kraju se duplo ispolirani isečak stene ili rude skine sa predmetnog stakla, zagrevanjem ukoliko je korišćen termolabilni lepak ili odgovarajućim rastvaračem ako je korišćen rastvorni lepak i obavezno dobro očisti od ostatka lepka.

4. RUDNOMIKROSKOPSKA DETERMINACIJA MINERALA

U cilju identifikacije prisutnih rudnih odnosno neprovidnih minerala u uzorcima ruda i stena, najpre se vrši rutinski rudnomikroskopski pregled preparata. Ovaj pregled obuhvata samo opservaciju i kvalitativne (deskriptivne) metode ispitivanja minerala, bez upotrebe bilo kakvih merenja, tj. bez kvantifikacije opserviranih rezultata. Nasuprot ispitivanjima uzoraka u transmitovanoj svetlosti, češće se dešava da optička i druga svojstva minerala u reflektovanoj svetlosti nisu dovoljno izražena za njihovu pouzdanu identifikaciju. Dodatnu poteškoću u identifikaciji čini i ogromna raznovrsnost u načinu pojavljivanja i mogućim asocijacijama koji rudni minerali pokazuju.

Do koje mere minerali mogu biti pouzdano identifikovani samo kvalitativnim rudnomikroskopskim ispitivanjem, zavisi u velikoj meri i od znanja i iskustva istraživača. Početnici mogu relativno brzo da savladaju prepoznavanje samo manjeg broja minerala koji su veoma česti u prirodi i koji imaju izrazita optička svojstva. Iskusni istraživači mogu identifikovati mnogo veći broj minerala, mada će i dalje da postoje minerali koji će da stvaraju konfuziju i koji neće biti sasvim pouzdano identifikovani. Tendencija oslanjanja na iskustvu stvarala je sliku da je rudna mikroskopija donekle "teška umetnost". Međutim, razvoj kvantitativnih metoda za merenje količine reflektovane svetlosti i mikrotvrđine minerala, a naročito sve češća primena metoda elektronske mikroanalize, u velikoj meri su doprinele da se odagna takva predstava. Ipak, pažljivim proučavanjem kvalitativnih svojstava minerala u poliranim preparatima, baziranom na umerenom znanju i iskustvu istraživača, znatan broj minerala može biti pouzdano identifikovan bez korišćenja dodatne opreme.

Kvalitativna svojstva rudnih minerala koja su važna za njihovu identifikaciju, mogu se grupisati u tri kategorije:

- optička svojstva minerala
- svojstva koja zavise od tvrđine minerala
- morfološka svojstva minerala

4.1 Optička svojstva minerala

U optička svojstva minerala koja se određuju rudnim mikroskopom na poliranim preparatima spadaju: (1) boja i pleohroizam, (2) refleksija i birefleksija, (3) anizotropija i (4) unutrašnji refleksi. Pritom, opservacija se izvodi ili samo sa uključenim polarizatorom (paralelni nikoli) ili sa uključenim polarizatorom i analizatorom (ukršteni nikoli). Boja, pleohroizam, refleksija i birefleksija određuju se pri paralelnim nikolima, a anizotropija i unutrašnji refleksi minerala utvrđuju se pri ukrštenim nikolima. Intenzivni unutrašnji refleksi u nekim slučajevima mogu da se uoče i pri paralelnim nikolima. Opservacija optičkih osobina minerala se izvodi u vazduhu ili u imerziji, korišćenjem u tom slučaju kedrovog ili nekog drugog sintetičkog ulja kao imerzione sredine i odgovarajućih objektivna namenjenih za pregled u imerziji.

Boja minerala. Boja minerala u odbijenoj svetlosti je važna dijagnostička osobina, naročito kod intenzivno obojenih minerala. Vrlo mali broj rudnih minerala je intenzivno obojen (npr. kovelin, bornit, zlato), dok najveći broj ovih minerala spada u slabo obojene i početnicima mogu izgledati veoma slično u opsegu od bele do različitih tonova sive boje. Međutim, sticanjem izvesnog iskustva, fine razlike u boji postaju očigledne. Ipak, određivanje boje minerala u odbijenoj svetlosti često može da predstavlja teškoću iz sledećih razloga:

- različiti opis boje (jednog minerala)
- uticaj okruženja
- uticaj iluminatora i optičkog sistema mikroskopa
- irizacije prevlake (skrame)

Različiti opis boje. Kao što je već pomenuto, boje mnogih rudnih minerala u odbijenoj svetlosti su često u osnovi bele ili sive sa različitim i veoma finim tonovima odnosno nijansama, usled čega je često veoma teško opisati boju. Iz tog razloga, opis boje rudnih minerala uglavno sadrži više reči, tj. više navedenih tonova boja (npr. tetraedrit – svetlosiv sa maslinastom do mrkozelenom primesom, Zarić, 1980). S obzirom da je boja subjektivni utisak posmatrača, ovako složeni opisi boja će se razlikovati i u literaturi i od strane različitih istraživača. Naročito će opisi boja nekog minerala kod početnika u rudnoj mikroskopiji biti veoma raznoliki. Na primer, iskustvo je pokazalo da je na vežbama u grupi od nekoliko studenata, svaki student na drugačiji način opisao boju jednog minerala koji je bio predmet opservacije u rudnom mikroskopu. Iz tog razloga, nije neophodno da se zapazi i opiše boja minerala u potpunosti na način kako je ona opisana u literaturi, već je potrebno da posmatrač uoči i opiše fine nijanse u boji na sličan način, ali na način kako ih on vidi.

Uticaj okruženja. Dalji problem prilikom odredbe boje je taj, da boja minerala koju vidimo zavisi i od njegovog okruženja, naročito ukoliko se u okruženju nalaze intenzivno obojeni minerali. Na primer, halkopirit je jasno žut pored minerala koji su bele i sive boje, a kada se nalazi u okruženju zlata koje je intenzivno žute boje, halkopirit pokazuje zelenkastožutu boju. Iz tog razloga je važno da se ispitivani mineral posmatra u okviru asocijacije u kojoj se javlja. Shodno tome, boja minerala se najbolje opisuje u poređenju sa bojama drugih, čestih minerala, sa kojima se obično nalazi u asocijaciji.

Uticaj iluminatora i optičkog sistema mikroskopa. Prethodno opisane fine nijanse u boji minerala u odbijenoj svetlosti su veoma osetljive i na uticaj osvetljenja, tj. iluminatora mikroskopa. Razlike u kvalitetu osvetljenja i tipovima iluminatora pokazaće i fine razlike u boji istog minerala u različitim mikroskopima. Da bi se oko posmatrača “izbaždario” prilikom prelaska sa jednog mikroskopa na drugi, potrebno je da se najpre opservira nekoliko čestih minerala koji su lako prepoznatljivi čak i makroskopski u poliranom primerku (npr. pirit, galenit, halkopirit i sl.).

Irizacije prevlake. S obzirom da preparat zapravo predstavlja uglačanu površinu uzorka odnosno minerala, minerali koji stajanjem na vazduhu zadobijaju makroskopski uočljivo pseudohromatsko obojenje, tj. skramu (npr. srebro, bakar, bornit, itd.), takođe će i na poliranoj površini vremenom zadobiti skramu, odnosno irizacije prevlake. U takvim slučajevima, prava (idrohromatska) boja minerala nije vidljiva, ali postaje uočljiva ponovnim finalnim poliranjem površine.

Refleksija. Količina svetlosti koja dospeva na poliranu površinu određenog minerala i reflektuje se do posmatrača, zavisi od važne osobine datog minerala - njegove refleksije (ili reflektance). Ova osobina minerala, koja može da se opiše i kao “sjaj” minerala, izražava se u procentima (R%) i definisana je sledećim izrazom:

$$R(\%) = I/I_0 \times 100$$

I - intenzitet reflektovanog svetla sa površine minerala

I₀ - intenzitet upadnog svetla koje dospeva na površinu minerala.

Refleksija minerala, tj. količina reflektovane svetlosti, može precizno da se meri na rudnom mikroskopu upotrebom dodatne

opreme za kvantitativna optička merenja i na taj način, za svaki mineral je data kvantitativna (numerička) vrednost refleksije (npr. magnetit, R - 21%; galenit, R - 43%; pirit, R - 54%). Raspon refleksija kod minerala varira u širokom opsegu, od svega nekoliko procenata za minerale jalovine (npr. kvarc R - 5%), do maksimalnih R - 95% za srebro.

Oko posmatrača ne može da meri refleksiju, ali prilikom rutinskog pregleda preparata može da razvrsta prisutne minerale u asocijaciji po količini reflektovane svetlosti. Prisustvo jedne ili više lako prepoznatljivih faza sa uglavnom standardnom refleksijom (npr. gore navedene refleksije pojedinih minerala), daje mogućnost da se uz malo iskustva opservatora, proceni količina reflektovane svetlosti "nepoznatog" minerala, poređenjem sa navedenim "vizuelnim standardima". Iz tog razloga, potrebno je zapamtiti refleksije nekih najčešćih minerala koji se javljaju u rudnim ležištima, a koji pokrivaju čitav opseg vrednosti refleksija i na taj način mogu da posluže kao prethodno pomenuti "vizuelni standardi". Ovi minerali i njihove vrednosti refleksija dati su u tabeli 2.

Na primer, kvarc i ostali minerali jalovine kao prateći minerali koji su gotovo uvek prisutni u asocijaciji sa rudnim mineralima, imaju refleksiju ispod 10%. Oni se takođe koriste za "baždarenje" oka za procenu količine odbijene svetlosti, naročito niskoreflektujućih rudnih minerala, kao što je na primer sfalerit (R - 17%). Tokom rutinskog pregleda preparata i bez kvantitativnih optičkih merenja, refleksija minerala može da se proceni i upiše kao veoma niska (R <10%, minerali jalovine), niska (R 10-20%, oksidi, volframati i dr.), srednja (R 20-40%, oksidi, sulfidi i sulfosoli), visoka (R 40-60%, sulfidi) i veoma visoka (R >60%, samородni elementi).

Tabela 2. Refleksija i unutrašnji refleksi pojedinih minerala iz različitih opsega refleksije.

Mineral		Refleksija (R%)	Unutrašnji refleksi			
Srebro	Samородni	Veoma visoka (R >60%)	Ne pokazuje			
Zlato				95		
Bizmut				74		
Bakar				60-68		
Pirit	Sulfidi	Visoka (R 40-60%)		Ne pokazuje		
Arsenopirit					54	
Halkopirit					52	
Galenit					45	
Pirotin	Srednja do visoka	Srednja do visoka			Ne pokazuje, slabi, jasni ili jaki	
Antimonit						34-44
Tenantit	Sulfidi, oksidi	Srednja (R 20-40%)	Ne pokazuje, slabi, jasni ili jaki			
Hematit						31-48
Rutil						30
Realgar						25-30
Bornit				20-24		
Magnetit				22		
Sfalerit	Niska (R 10-20%)	Niska (R 10-20%)		Veoma intenzivni (masovni)		
Kasiterit						22
Šelit	Veoma niska (R <10%)	Veoma niska (R <10%)			Veoma intenzivni (masovni)	
Silikati karbonati, sulfati i dr.						21
Kvarc			17			
	Veoma niska (R <10%)	Veoma niska (R <10%)	Veoma intenzivni (masovni)			
						12
	Veoma niska (R <10%)	Veoma niska (R <10%)				Veoma intenzivni (masovni)
	Veoma niska (R <10%)	Veoma niska (R <10%)				
				<10		
	Veoma niska (R <10%)	Veoma niska (R <10%)		Veoma intenzivni (masovni)		
					5	

Birefleksija i pleohroizam. Teseralni minerali ostaju nepromenjeni u pogledu količine reflektovane svetlosti i boje pri rotiranju mikroskopskog stočića, bez obzira na orijentaciju zrna u preparatu. Većina minerala drugih kristalnih sistema pokazuje promene u refleksiji i boji, ili u obema osobinama, prilikom rotiranja stočića odnosno preparata. Promena količine odbijene svetlosti (refleksije) je osobina minerala koja se naziva *birefleksija*, a promena boje ili nijanse *refleksioni pleohroizam* ili samo *pleohroizam*. Izometrični, tj. bazalni preseci tetragonalnih,

heksagonalnih i romboedarskih kristala, ne pokazuju nijednu od ovih osobina i ponašaju se kao teseralni minerali. Uz konstataciju da mineral ispoljava jednu, drugu ili obe ove osobine, potrebno je da se oceni i njihov intenzitet. Razlika između maksimalne i minimalne vrednosti za količinu reflektovane svetlosti predstavlja meru birefleksije. Uobičajeno je da se birefleksija rangira kao slaba, jasna, jaka i veoma jaka. U slučajevima promene boje (pleohroizma), opažaju se i beleže promene boja i nijansi u različitim orijentacijama zrna minerala. Primeri minerala koji pokazuju najizrazitije efekte pleohroizma i birefleksije dati su u tabeli 3, a zahvaljujući ovim optičkim osobinama, njihova determinacija je znatno lakša i pouzdanija.

Važno je imati u vidu da su obe opisane osobine (birefleksija i pleohroizam) u funkciji orijentacije zrna minerala u odnosu na pravac vibracije polarisane svetlosti. Tako, prilikom okretanja stočića mogu da se pokažu promene ovih osobina od nulte do maksimalnih vrednosti u zavisnosti od orijentacije zrna. U slučajevima opservacije slabije izraženih osobina birefleksije i pleohroizma kod nekih minerala, potrebno je izabrati međusobno srasla, a različito orijentisana zrna (mineralni agregat). Na

Tabela 3. Primeri minerala sa izrazitim efektima pleohroizma i birefleksije.

Mineral	Pleohroizam		Birefleksija	
	Opseg boja (tamnija / svetlija)	Opis	(R%)	Opis
Grafit	siva / svetla mrkosiva	veoma jak	6-17	veoma jaka
Kovelin	Indigoplava / svetloplava		7-24	
Molibdenit	siva / bela sa ružičastom prim.		15-37	
Brajthauptit	ljubičasta / svetloružičasta	jasan do jak	38-50	Slaba do jasna
Nikelin	mrkoružičasta / narandžastoružičasta		46-56	
Milerit	bleda žutobraon / svetložuta	slab do jasan	50-57	
Bizmutinit	svetlosiva sa kremzelenom / kremplavom primesom		37-49	
Kubanit	kremsiva / ružičastomrka		35-40	
Markasit	kremžuta / svetlokrem		48-56	
Pirotin	krem-ružičastomrka		34-44	
Kalcit	siva (tamna / svetla)	bez pleoh.	4-7	jaka

ovakvim mestima posmatrač je u stanju da uoči male razlike u intenzitetu ispoljenih osobina, u idealnom slučaju i razlike u refleksiji od svega 2% za niskoreflektujuće minerale. Ovom prilikom treba naglasiti da opseg birefleksije od svega nekoliko procenata (npr. 2-3%) ne daje isti efekat za visoko- i niskoreflektujuće minerale. Na primer, milerit (R 50-57%) pokazuje opseg od 7%, ali to je svega 10-15% razlike u refleksiji u različitim orijentacijama zrna i iz tog razloga ovaj mineral pokazuje slabu do jasnu birefleksiju. S druge strane, kalcit (R 4-7%) pokazuje opseg od svega 3%, ali se refleksija gotovo udvostručava menjanjem orijentacije zrna i iz tog razloga ovaj mineral zapravo pokazuje jaku birefleksiju (tabela 3).

Anizotropija. Prilikom ispitivanja poliranih površina teseralnih minerala sa ukrštenim polaroidima (nikolima), utvrđeno je da oni ostaju potamnjeni (položaj ekstinkcije) prilikom okretanja stočića mikroskopa, odnosno pri bilo kojoj kristalografskoj orijentaciji zrna. Takvi minerali se nazivaju *izotropnim*. Za razliku od petrografskog mikroskopa, u rudnom mikroskopu izotropni minerali pri ukrštenim nikolima često nisu u potpunosti potamnjeni, ali u svakom slučaju ne pokazuju bilo kakve promene tokom okretanja stočića.

Svi ostali minerali koji su niže simetrije od teseralne, ne ostaju nepromenjeni prilikom

rotiranja stočića mikroskopa pri ukrštenim nikolima i oni se, podrazumeva se, nazivaju *anizotropnim*. Preseci sa pojedinim orijentacijama anizotropnih kristala, mogu da budu izotropni (bazni preseci tetragonalnih, heksagonalnih i romboedarskih kristala), ali ostali preseci pokazuju varijacije u sjaju i/ili boji pri rotaciji stočića za 360° . Kao što je to slušaj sa birefleksijom i pleohroizmom, anizotropija minerala može takođe da se nalazi u granicama od maksimalne do nulte odnosno do položaja ekstinkcije (tj. do izotropnog položaja), u zavisnosti od toga koji je presek kristala poliran. U presecima koji pokazuju anizotropiju, a za jednu rotaciju stočića za 360° , postojaće četiri položaja međusobno udaljena za 90° u kojima je presek minerala potamnjen (položaji ekstinkcije). Između ovih položaja potamnjenja, na oko 45° , nalaze se položaji maksimalnog osvetljenja. Pri konstataciji da mineral pokazuje anizotropiju, najpre je potrebno klasifikovati njen intenzitet, pri čemu se i u ovom slučaju uglavnom koriste termini “veoma slaba”, “slaba”, “jasna”, “jaka” i “veoma jaka” anizotropija.

Najveći broj rudnih minerala ima slabo izražene bojene efekte anizotropije i iz tog razloga anizotropne boje često bivaju izostavljene u opisu dijagnostičkih osobina minerala pri rutinskom rudnomikroskopskom ispitivanju. S druge strane, neki minerali imaju tako izraženu i karakterističnu anizotropiju da je to i najznačajnija dijagnostička osobina za identifikaciju minerala (npr. milerit, ilvait, kubanit, itd.). Međutim, pažljivom opservacijom, anizotropne boje ipak mogu da budu korisne za identifikaciju većeg broja minerala. Pritom, treba imati u vidu da su anizotropne boje nekog minerala konstantne samo kada su polaroidi ukršteni tačno pod 90° , a menjaju se pri raskrštenim nikolima (najčešće za $3-5^{\circ}$). Slično kao prilikom odredbe boje minerala, i prilikom odredbe anizotropnih boja posmatrač će se često

susretati sa poteškoćama definisanja boja, a takođe i sa uticajem razlika različitih iluminatora i polaroida na odredbu nijansi.

Kao i u slučaju birefleksije i pleohroizma, potrebno je ispitati što veći broj zrna nekog minerala kako bi se ustanovio i opservirao presek sa maksimalno izraženim efektima anizotropije. U pojedinim slučajevima, kombinovani efekti rotiranja mikroskopskog stočića i anizotropije okolnih zrna onemogućavaju da se utvrdi da li je posmatrano zrno minerala izotropno ili slabo anizotropno. Utvrđivanje ovih efekata može lakše da se izvede ukoliko se stočić mikroskopa i preparat ne pomeraju, već se analizator iz svog korektnog ortogonalnog položaja u odnosu na polarizator (ukršteni nikoli) izvodi, tj. pomera napred i nazad za $5-10^{\circ}$. Time se eliminišu ometajućii vizuelni efekti susednih zrna usled rotiranja stočića. U svemu ovome, od pomoći mogu biti i dobro centrirani objektivni mikroskopa, kao i upotreba dijafragme za širinu vidnog polja kojom se mogu izolovati okolna anizotropna zrna.

Na kraju, potrebno je imati u vidu da se mogu javiti lažni efekti anizotropije koji zavise uglavnom od pripreme preparata. Tako, pojedini teseralni minerali kao na primer pirit i magnetit, ponekad pokazuju slabu “*anomalnu anizotropiju*”. Priroda ove vrste anizotropije nije u svakom slučaju potpuno razjašnjena, ali najčešći uzrok pojave ovog fenomena leži u deformacijama same površine kristala sa koje se reflektuje svetlost, a koje su nastale tokom poliranja. Inače, “*anomalnu anizotropiju*” pokazuju uglavnom minerali relativno visoke tvrdine (tv. >5). S druge strane, fine međusobno paralelne ogrebotine koje su naročito česte na zrnima mekih minerala kao što su zlato i srebro, posledica su lošijeg završnog poliranja i takođe mogu da izazovu efekte slične efektima anizotropije.

Unutrašnji refleksi. Neki minerali koji se ispituju polarizacionom mikroskopijom su transparentni, drugi su potpuno neprovidni, dok su neki, u tom smislu, intermedijarni. Ova poslednja grupa minerala se u velikoj meri podudara sa slabo prozračnim do prozračnim mineralima u makroskopskom prepoznavanju. Podrazumeva se da se transparentni minerali najbolje proučavaju u propuštenoj svetlosti, neprovidni u odbijenoj, a intermedijarni (prozračni) mogu da pokazuju karakteristične optičke osobine u propuštenoj i/ili odbijenoj svetlosti. Ipak, za ispitivanje većine prozračnih rudnih minerala pogodnije su optičke osobine u odbijenoj svetlosti, a jedna od najznačajnijih osobina ovih minerala jeste pojava unutrašnjih refleksa. *Unutrašnji refleksi* predstavljaju svetlost koja prodire dalje od površine u unutrašnjost delimično transparentnog minerala, a zatim se reflektuje i izbija iz unutrašnjosti datog minerala. Takva svetlost se obično pojavljuje u vidu većih ili manjih difuznih zona u pojedinim delovima zrna nekog minerala.

Što je veća prozračnost minerala to će i unutrašnji refleksi biti intenzivniji i pokrivaće veću površinu zrna. Tako na primer, minerali jalovine su uglavnom prozračni do providni (kvarc, kalcit i dr.) i oni pokazuju intenzivne odnosno masovne unutrašnje refleksije. Prozračni do slabo prozračni (tj. prozračni jedino u tankim presecima) minerali pokazuju jasne do slabe, a neprovidni minerali ne pokazuju unutrašnje refleksije. Kako su neprovidni minerali zapravo minerali sa višim refleksijama, dok sa povećanjem prozračnosti refleksija minerala opada, može se zapaziti da je intenzitet unutrašnjih refleksa generalno u negativnoj korelaciji sa refleksijom minerala. Tako, minerali sa visokom i veoma visokom refleksijom ne pokazuju unutrašnje refleksije (samородni, većina sulfida). Zatim se ova optička osobina pojavljuje kod nekih minerala sa srednjom refleksijom, uglavnom u vidu slabih refleksa

(pojedini sulfidi, oksidi), koji potom postaju intenzivniji do masovni idući prema mineralima sa niskom i veoma niskom refleksijom (tabela 2). Ipak, postoje odstupanja u ovoj korelaciji, zbog čega je naglašeno da je to samo generalni trend. Na primer, bornit i magnetit ne pokazuju unutrašnje refleksije, a hematit i tenantit koji imaju nešto više refleksije od njih, pokazuju slabe do jasne refleksije.

Opservacija unutrašnjih refleksa se uglavnom vrši pri ukrštenim nikolima. Samo u ređim slučajevima, kada su oni intenzivni i pri jakoj iluminaciji mikroskopa, mogu da se opaze i pri paralelnim nikolima, tj. u linearno polarisanoj svetlosti. Kao što je već nagovešteno u prethodnoj rečenici, intenzitet unutrašnjih refleksa umnogome zavisi od iluminacije mikroskopa, pri čemu će unutrašnji refleksi biti dobro uočljivi pri jakom osvetljenju. Unutrašnji refleksi ne moraju da se vide na svakom zrnu minerala koji inače pokazuje taj efekat. Iz tog razloga je potrebno proveriti moguću pojavu ove osobine na više zrna nekog minerala u preparatu. Vidljivost unutrašnjih refleksa se takođe poboljšava upotrebom ulja kao imerzione sredine i upotrebom objektiva sa velikim uvećanjem. Najizraženiji su na ivicama zrna, pukotinama, kao i na malim zrnima nekog minerala. Ova mesta zapravo predstavljaju stanjene delove minerala. Međutim, pojava unutrašnjih refleksa će zavisiti i od sredine u kojoj se mineral nalazi. Na primer, fine inkluzije rutila u piritu koji je potpuno neprovidan, često gotovo da ne pokazuju unutrašnje refleksije ili su oni prilično slabi, dok iste te inkluzije koje se javljaju i u kvarcu i drugim transparentnim mineralima jalovine pokazuju jasne do jake refleksije rutila. Potrebno je još imati u vidu da intenzivni odnosno masovni unutrašnji refleksi uglavnom maskiraju anizotropiju, s obzirom da se ove dve optičke osobine posmatraju pri ukrštenim nikolima. U tim slučajevima nije moguće utvrditi da li je

mineral izotropan ili anizotropan. Kod minerala sa slabim do jasnim refleksima, anizotropija se određuje na uobičajen način.

Pored same pojave, takođe je i boja unutrašnjih refleksa važna za dijagnostiku minerala. S obzirom da su kod obojenih minerala pojedine talasne dužine upadne bele svetlosti često selektivno apsorbovane, unutrašnji refleksi minerala u takvim slučajevima pokazuju tzv. "boju tela" koja zapravo najčešće odgovara idiohromatskoj boji minerala ili boji ogreba. Na primer, kasiterit pokazuje žute i žutomrke, realgar narandžaste do crvene, minerali srebra prustit i pirargirit upečatljive rubin crvene unutrašnje reflekske, itd.

4.2. Kvalitativno određivanje tvrdine

Tvrđina je relativno kompleksna osobina minerala, a sam termin se u rudnoj mikroskopiji odnosi na više fenomena, od kojih su važna sledeća tri:

1. Tvrđina poliranja
2. Otpornost na ogreb
3. Mikroindentaciona tvrđina

Treća navedena vrsta tvrđine predstavlja osnovu za njeno kvantitativno određivanje i biće posebno obrađena u poglavlju 5. Prve dve vrste se određuju pri rutinskom rudnomikroskopskom ispitivanju i često mogu da budu od velike pomoći pri identifikaciji minerala.

Tvrđina poliranja. Tvrđina poliranja predstavlja otpornost određenog minerala na abraziju (struganje, habanje) tokom procesa poliranja. Kako se tvrđi minerali u manjoj meri habaju tokom poliranja u odnosu na mekše minerale, njihove površine ostaju nešto iznad nivoa površina mekših minerala, stvarajući na taj način efekat koji je poznat kao *reljef poliranja*, ili samo *reljef* minerala. I pored svih pokušaja koji se čine u procesu izrade poliranih preparata da se

minimalizuje veličina reljefa, ova osobina ipak ostaje prisutna u većoj ili manjoj meri u zavisnosti od načina pripreme.

Tabela 4. Tvrđina i reljef najznačajnijih minerala u rudnim asocijacijama.

Mineral	Tvrđina	Reljef
Kvarc	7	VISOK
Kasiterit	6.5-7	
Rutil	6-6.5	
Pirit	6-6.5	
Markasit	6-6.5	
Magnetit	5.5-6.5	
Arsenopirit	5.5-6	
Hematit	5.5-6	
Pirotin	3.5-4.5	SREDNJI
Pentlandit	3.5-4	
Halkopirit	3.5-4	
Sfalerit	3.5-4	
Tetraedrit	3-4	
Karbonati	3-4	
Bornit	3	
Halkozin	2.5-3	NIZAK
Au, Ag, Cu	2.5-3	
Pb sulfosoli	2.5-3	
Galenit	2.5-3	
Antimonit	2-2.5	
Bizmutinit	2-2.5	
Realgar	1.5-2	
Auripigment	1.5-2	
Kovelin	1.5-2	
Grafit	1-2	
Molibdenit	1-1.5	

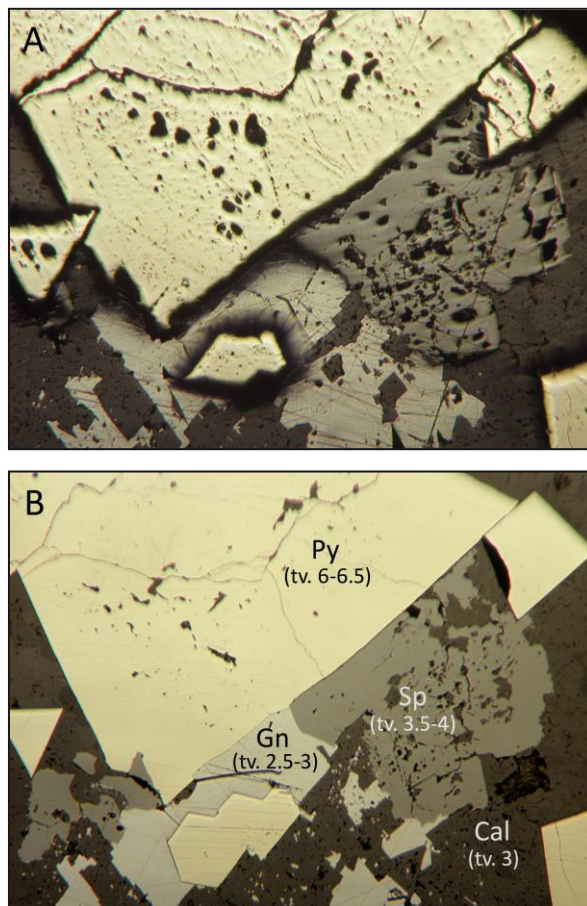
Međutim, dobra strana ove pojave je ta, da prisustvo reljefa pruža mogućnost brzog i jednostavnog procenjivanja (tj. kvalitativnog određivanja) relativne tvrđine minerala. Reljef minerala se ovom prilikom opisno izražava kao visok, srednji ili nizak, a u korelaciji je sa tvrđinom minerala na taj način, što minerali sa relativno visokom tvrđinom (tv. >5) pokazuju visok reljef, oni sa srednjom (tv. 3-5) pokazuju srednji reljef i na kraju, minerali male tvrđine (tv. <3) imaju nizak reljef (tabela 4).

Tvrđina se određuje posmatranjem granice zrna različitih minerala. Ukoliko granicu čini veoma fina tanka linija, susedni minerali imaju približne tvrđine, a ukoliko je granica naglašenija, veća je i njihova razlika u tvrđini. Na primeru slike 8, granica zrna pirita i ostalih minerala u asocijaciji, pokazuje naglašeni reljef što ukazuje i na značajnu razliku u tvrđini ovih minerala, u ovom slučaju znatno višu tvrđinu pirita (tv. 6-6.5) od sfalerita (tv. 3.5-4) i galenita (tv. 2.5-3). S druge strane, razlika u tvrđini između sfalerita i galenita relativno je mala, usled čega su i njihove granice zrna prilično fine.

U slučaju naglašenijeg reljefa, kao na primer na granici pirita i ostalih minerala sa slike 8, moguće je odrediti koji mineral ima veću tvrđinu, odnosno pokazuje viši reljef. Ovakva determinacija tvrđine se svodi na jednostavan test, koji je baziran na efektu poznatom kao *Kalbova svetla linija*. Ovaj fenomen je analogan efektu Bekeove linije u propuštenoj svetlosti, pri čemu je u potpunosti drugačijeg porekla, jer se Bekeova linija koristi za određivanja indeksa prelamanja minerala. Procedura za određivanje relativne tvrđine pomoću Kalbove linije se sastoji u sledećem:

- fokusira se jasna granična linija između dva zrna minerala različitih tvrđina;
- spušta se stočić (ili se podiže tubus) mikroskopa, tako da površina preparata počinje da izlazi iz ravni fokusa objektiva, s obzirom da se povećava rastojanje između objektiva mikroskopa i površine preparata;
- posmatra se svetla linija (Kalbova linija), koja se tom prilikom kreće ka mekšem mineralu.

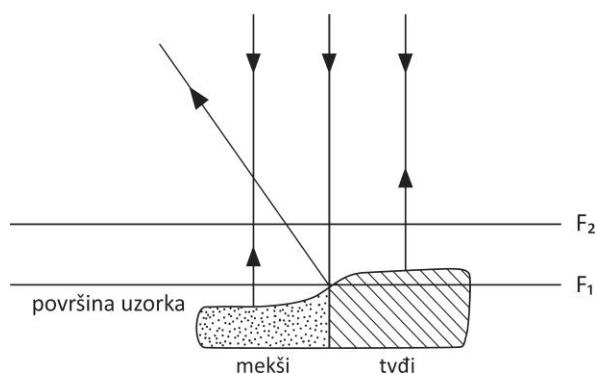
Poreklo Kalbove linije može se razmotriti koristeći sliku 9. Usled neravnomernog habanja minerala tokom poliranja, granicu mekšeg i tvrđeg zrna predstavlja uzana kosa ravan sa koje se svetlost ne reflektuje upravno, već pod nekim uglom. Ovaj deo



Slika 8. Reljef minerala u zavisnosti od načina pripreme preparata i razlike u tvrđini (tv.) susednih minerala. **A.** Preparat koji je poliran ranijim postupkom, uz upotrebu samo glinice, pokazuje loše ispoliranu površinu i veoma izraziti reljef na granici pirita (Py, tv. 6-6.5) i ostalih minerala (tv. 2.5-4) – sfalerita (Sp), galenita (Gn) i minerala jalovine kalcita (Cal). **B.** Isti preparat prepoliran dijamantskim abrazivima u 4 koraka – 9, 6, 3 i 1 μm , pokazuje znatno bolje ispoliranu površinu i slabije izraženi reljef minerala, naročito pirita (vazduh, //N, širina mikrofografija $\sim 1\text{ mm}$).

svetlosti nije vidljiv kada je sama granica zrna u fokusu (fokusna ravan F1), ali tokom defokusiranja do F2, ova svetlost je viđena kao svetla linija koja se pomera prema mekšem mineralu. Treba napomenuti da se ovaj efekat može zapaziti samo u slučaju kada se javlja izrazitiji reljef, što će zavisiti, kao što je to već prethodno objašnjeno, od relativne tvrđine susednih zrna i primenjene metode poliranja. Značajan reljef će se javiti

samo na granici minerala koji pokazuju razliku u tvrđini od 40-50% naviše. Međutim i u tom slučaju će reljef umnogome zavisiti od načina pripreme preparata, što je takođe ilustrirano na slici 8.



Slika 9. Poprečni presek (šematski) površine preparata koji pokazuje pojavu Kalbove linije na granici dva minerala različitih tvrđina (Craig & Vaughan, 1994).

Otpornost na ogreb. Mada bi perfektно polirana površina uzorka trebalo da bude u potpunosti bez ogrebotina, u praksi ih svakako uvek ima u nekoj meri. Relativna količina, odnosno broj ogrebotina koji prelazi preko granica zrna različitih minerala, kao i njihov intenzitet (tj. dubina ogrebotina), mogu da budu u izvesnim okolnostima korišćeni za procenjivanje relativne tvrđine minerala. Iako se kod pojedinih mekih minerala može postići izvanredno dobro polirana površina (npr. kovelin, bizmutinit), to nije slučaj kod većine drugih kod kojih se gotovo uvek zadržavaju ogrebotine na površini i nakon finalnog poliranja (npr. grafit, molibdenit, zlato, srebro).

Neki tvđi minerali relativno brzo dobijaju korektno poliranu površinu (npr. ilmenit, nikelin), dok drugi zahtevaju mnogo duže vreme poliranja (npr. pirit, magnetit, volframit). Mada, vreme potrebno za dobro ispoliranu površinu može takođe da zavisi i od kristalografske orijentacije zrna, kao i drugih faktora (veličina zrna, teksture, itd.). Ogrebotine koje se prostiru preko granica različitih zrna mogu da budu indikativne za

relativnu tvrđinu minerala, na osnovu toga što su u mekšim mineralima dublje nego u tvđim. Međutim, ovo opažanje mora da se koristi vrlo pažljivo, jer mnoge duboke ogrebotine koje su nastale u početnim fazama poliranja uzorka, bivaju uklonjene u kasnijim fazama tog procesa u mekšim mineralima, a ostaju u susjednim tvđim. Ovakva pojava može da prikaže lažnu obrnutu sliku relativnih tvrđina minerala.

4.3. Morfološka svojstva i građa minerala

Morfološka svojstva i građa minerala zavise prvenstveno od njihove kristalne strukture, a obuhvataju: 1) kristalnu formu i izgled kristala (habitus), 2) cepljivost, 3) zonarnost, 4) bližnjenje i 5) deformacije. Ove osobine su od suštinskog značaja za razmatranje tekstura i asocijacija rudnih minerala, zbog čega su u glavnim crtama prikazane u ovom delu udžbenika.

Kristalna forma. Celokupni opseg kristalnih formi i oblika kristala koji se koristi u opisu minerala pri makroskopskom ispitivanju uzoraka, kao i pri ispitivanju u propuštenoj svetlosti, isto tako je u upotrebi i u proučavanju poliranih uzoraka u reflektovanoj svetlosti. Neki minerali se često pojavljuju u dobro razvijenim kristalima - *euhedralnim* oblicima (npr. pirit, arsenopirit, hematit, volframit), dok su drugi gotovo uvek potpuno nepravilni, tj. *anhedralni* (npr. halkopirit, bornit, halkozin). Ukoliko zrna nekog minerala pokazuju samo delimično razvijene granične elemente kristala, koje su u preparatu ogledaju u vidu pojedinih pravih ivica zrna, takve minerale terminološki karakterišemo kao *suphedralne*. Analogno navedenim terminima, u rudnoj mikroskopiji takođe mogu da se koriste i termini; *idiomorfan* (umesto euhedralan) koji se odnosi na minerale čija su zrna uvičena pljosnima odnosno ivicama sa svih strana, zatim dalje,

hipidiomorfan (umesto suphedralan) i alotriomorfan (umesto anhedralan).

Važno je imati u vidu da polirana površina uzorka uvek daje dvodimenzionalni izgled (presek) trodimenzionalnog objekta. Tako na primer, heksaedar (kocka) može da se pojavi na poliranoj površini u obliku kvadrata ako je presek zrna paralelan pljosni kristala, ali takođe i u obliku trougla, pravougaonika i drugih oblika u slučaju proizvoljnih preseka. Iz tog razloga, potrebno je uzeti u razmatranje veći broj oblika zrna kako bi se eventualno utvrdila kristalna forma nekog euhedralnog minerala.

Standardni mineraloški termini koji se odnose na opisivanje formi kristala, upotrebljavaju se i u rudnoj mikroskopiji kako za individualna zrna odnosno kristale, tako i za mineralne agregate, što je dato u sledećim primerima:

Igličasti/pritkasti: antimonit, hematit (presek listastog agregata); Pb-sulfosoli (bulanžerit, kozalit i dr.)

listasti/tabličasti: kovelin, molibdenit, grafit, hematit, barit, liskuni

izometrični: heksaedarski – pirit, galenit; oktaedarski – pirit, magnetit, hromit; pentagondodekaedarski – pirit, bravoit.

karakteristični rombični: arsenopirit, markasit
skeletni: srebro, galenit, magnetit (u meteoritima i troskama)

Oblik kristala se često koristi i u prepoznavanju uobičajenih pratećih minerala odnosno minerala jalovine. Tako na primer, fluorit često pokazuje oktaedarske ili heksaedarske forme, barit tabličaste do pločaste, karbonati dolomit i siderit forme romba, kvarc karakteristične euhedralne forme uglavnom romboedarske simetrije, minerali glina fino-zrne do kriptokristalaste agregate, sericit listaste forme, itd.

Cepljivost i razdvajanje. Mada je cepljivost osobina minerala koje se često i lako uočava

makroskopski i u propuštеноj svetlosti, nije tako uobičajeno da se ove osobina minerala uočava i rudnomikroskopskim ispitivanjem. Cepljivost i razdvajanje pre i nešto češće mogu biti izražene u ranijim fazama pripreme preparata (recimo, nakon poliranja sa dijamantskom pastom 6 μm), nego nakon finalnog poliranja. Cepljivost ili razdvajanje se vide u poliranom preparatu kao jedan ili više setova paralelnih pukotina, a ako postoje tri ili više pravaca cepljivosti, pojavljuju se paralelni nizovi *trouglastih šupljina (šupljina cepljivosti)*. Pojava ovakvih šupljina je karakteristična za galenit (str. 101) i predstavlja dodatnu dijagnostičku osobinu ovog minerala. Ova pojava može da se zapazi takođe i kod gerzdorfita, pentlandita i drugih minerala. Razviće ovakvih šupljina ne zavisi samo od metode poliranja, nego i od orijentacije poliranog preseka u odnosu na pravac cepljivosti minerala. Cepljivost kod drugih tipova kristala takođe može uzrokovati karakteristične forme na poliranim presecima. Tako na primer, prizmatična cepljivost daje trougaone, dijamantske ili pravougaone oblike šupljina, dok pinakoidalna cepljivost daje setove paralelnih pukotina.

Cepljivost minerala ne mora biti ni najmanje vidljiva na kvalitetno ispoliranim površinama, a takođe ni na fino-zrnom materijalu. Kada se zapaža, ova osobina minerala je u većoj meri uočljiva na marginama zrna. U određenim slučajevima, može da bude lepo otkrivena usled površinske alteracije, zamenjivanja ili nekog drugog procesa transformacija minerala. Neki od primera za ove transformacije duž pravaca cepljivosti su alteracija galenita u ceruzit, sfalerita u smitsonit, halkopirita u kovelin, piritina u markasit a potom u pirit ili ponekad u magnetit. Na kraju, cepljivost minerala može biti naknadno otkrivena metodom nagrizanja (strukturno nagrizanje) koja je detaljno opisana u potpoglavlju 4.5.

Zonarnost. Zonarnost se veoma često javlja u mineralima i uglavnom je uzrokovana promenama u hemijskom sastavu u zonama rasta kristala. Mada, u nekim slučajevima zonarnost može biti ispoljena prisutnim inkluzijama minerala ili fluidnim inkluzijama, a takođe i nekim drugim faktorima. Hemijska zonarnost se naročito često javlja kod minerala koji predstavljaju izomorfne smeše (npr. volframit, $(\text{Fe},\text{Mn})\text{WO}_4$, predstavlja intermedijarni član ferberit-hibnerit $\text{FeWO}_4\text{-MnWO}_4$ serije). Zonarnost u mineralu često može biti uzrokovana i zonananim rasporedom neke hemijske primese (npr. primese gvožđa u sfaleritu).

Međutim, i pored česte pojave zonarnosti minerala, ovaj fenomen se ređe zapaža rutinskim rudnomikroskopskim pregledom. Naime, optička svojstva između susednih zona se veoma slabo razlikuju i ljudsko oko nije dovoljno osetljiv senzor da zapazi tako fine razlike. Ipak, u današnje vreme postoje drugi senzori koji u nekim slučajevima mogu da istaknu i vide zonarnost, a pritom su lako dostupni. To su zapravo CCD senzori digitalnih kamera, kod kojih povećanjem kontrasta (*contrast*) i smanjenjem svetline (*brightness*) može da se istakne i vidi zonarnost.

Zonarnost minerala može naročito dobro da se istakne nakon nagrizanja zrna kiselinama (videti potpoglavlje 4.5), a bez nagrizanja, veoma dobro može da se definiše pod elektronskim mikroskopom, tj. SEM-EDS metodom.

Bližnjenje. Postoje tri glavna tipa bližnjenja koja mogu da se uoče kod rudnih minerala: i) bližnjenje nastalo usled rasta kristala; ii) usled inverzije i iii) usled deformacije. Ovo svojstvo minerala najbolje se zapaža kod anizotropnih minerala pri ukrštenim nikolima. S druge strane, kod izotropnih minerala ne može biti uočeno bez nagrizanja površine, mada, često se može zapaziti nakon samo grubog poliranja. U nekim

slučajevima, postojanje bližnjenja u mineralu može biti utvrđeno naglim promenama pravaca cepljivosti ili nizova inkluzija. Kristalografski pravci po kojima dolazi do bližnjenja najčešće ne mogu biti determinisani u poliranim preparatima, mada su pojedina bližnjenja kod nekih minerala veoma svojstvena i značajna za njihovu identifikaciju. Karakteristični primeri za razne tipove bližnjenja su: i) bližnjenje nastalo usled rasta kristala (prvi tip) kod markasita, kod kojeg orjentisano narastaju kristali oblika vrha strele; ii) za inverziona bližnjenje primeri su stanin ili akantit; iii) za deformacioni tip bližnjenja primeri su lamelarna građa kod halkopirita, hematita i antimonita.

Deformacije. Naknadne deformacije minerala, nakon njegove kristalizacije, najčešće su nastale pod dejstvom povišenih temperatura (rezagrevanje) i mehaničkih pritisaka (tektonski pokreti).

Kako će se neki mineral ponašati na povišenim temperatura zavisiće od njegovih *refraktornih* osobina, odnosno od njegove rezistencije na temperaturu. Pojedini minerali su prilično otporni na povišene temperature, kao na primer, sfalerit, pirit, arsenopirit, hromit, magnetit i ovi minerali obično zadržavaju sve karakteristike prvobitnog obrazovanja (sastav, teksturu, itd.). S druge strane, neki minerali su izuzetno osetljivi na povišene temperature (kovelin i drugi sulfidi Cu-S sistema, akantit i dr.) i ovi minerali teže zadržavaju karakteristike primarnih uslova obrazovanja.

Kako će se neki mineral ponašati pod dejstvom mehaničkih pritisaka, zavisiće od fizičkih osobina, krtosti odnosno elastičnosti minerala. Kod krtih minerala, u uslovima mehaničkih deformacija dolazi do pucanja i drobljenja pri čemu se javlja *kataklaziranje*. S druge strane, kod elastičnih minerala dolazi do *plastičnih deformacija*, a jedno od najizrazitijih jeste pojava polisintetičkog

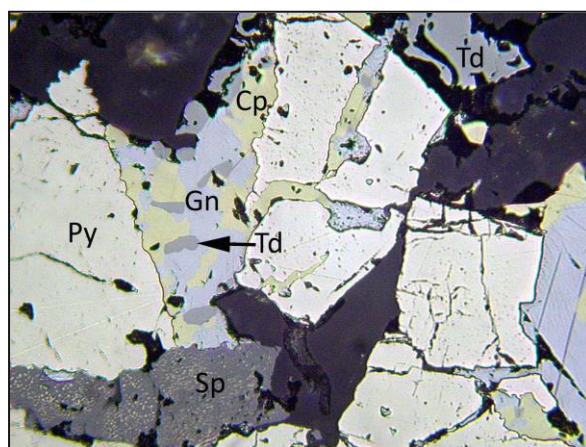
bližnjenja koje često pokazuje povijene lamele. Ove deformacije minerala nastale pod dejstvom mehaničkih pritisaka mogu biti naročito značajne sa aspekta mikrotektonike.

4.4. Asocijacija minerala

S obzirom da su monomineralni uzorci ruda i stena sasvim retki i minerali u uzorcima ustvari obrazuju razne asocijacije, iz tog razloga i određeni mineral treba posmatrati i identifikovati kao deo neke asocijacije. Pritom, prilikom odredbe mineralne asocijacije polazi se od određivanja čestih i lako odredljivih minerala (npr. pirit, galenit, halkopirit, kovelin). Zatim se u poređenju sa njihovim optičkim osobinama određuju i ostali minerali koji su zastupljeni u asocijaciji u manjoj meri ili koji ne mogu da se identifikuju "na prvi pogled" usled ne tako karakterističnih optičkih osobina (npr. tetraedrit, enargit). Međutim, treba imati u vidu da načini pojavljivanja i udruživanja minerala često pokazuju određene pravilnosti usled čega se javljaju karakteristične asocijacije minerala. Ove asocijacije su, pored optičkih osobina minerala, od velike pomoći prilikom određivanja mineralnog sastava uzorka.

Na primer, dobro poznate karakteristične asocijacije minerala koje su od značaja i za njihovo makroskopsko prepoznavanje su galenit i sfalerit ili realgar i auripigment. Ovakve svojstvene asocijacije se, podrazumeva se, javljaju i prilikom mikroskopskog pregleda preparata. U primeru Pb-Zn mineralizacije, lakše je pouzdano utvrditi prisustvo galenita, a zatim pretpostaviti, a potom utvrditi i pojavu sfalerita koji može u početku pregleda biti sličan mineralima jalovine, ponekad magnetitu, pa čak i rutilu. U prepoznavanju sfalerita je dodatno od pomoći i prisustvo finih kapljičastih (emulzionih) zrna halkopirita prepoznatljive žute boje koji se

često javlja na ovakav način u sfaleritu. Pored dodatne potvrde u identifikaciji sfalerita, ovako karakteristično prisustvo halkopirita ukazuje i na prisustvo bakra u rudi, usled čega se može očekivati i prisustvo drugih minerala bakra. Tako, na primeru asocijacije minerala sa slike 10, najpre su prepoznati pirit, halkopirit i galenit, odmah potom i sfalerit, a zatim se tetraedrit posmatrao kao mogući mineral bakra. Nakon poređenja njegovih optičkih osobina sa literaturnim podacima, ovaj mineral je i pouzdano determinisan.



Slika 10. Asocijacija pirit (Py), galenita (Gn), halkopirita (Cp), sfalerita (Sp, sa finim emulzionim izdvajanjima halkopirita) i tetraedrita (Td) (vazduh, //N, širina mikrografije ~0.7 mm). Galenit, halkopirit i tetraedrit pokazuju intenzivna međusobna prorastanja i cementuju pirit po pukotinama i obodu zrna. Uzorak: Pb-Zn ležište Brskovo, Crna Gora.

Prilikom razmatranja mogućih i čestih asocijacija minerala, potrebno je uzeti u obzir sledeće pojedivosti u procesima njihovog obrazovanja: 1) stadijum obrazovanja minerala i parageneza, 2) ravnoteže faza, 3) teksture minerala.

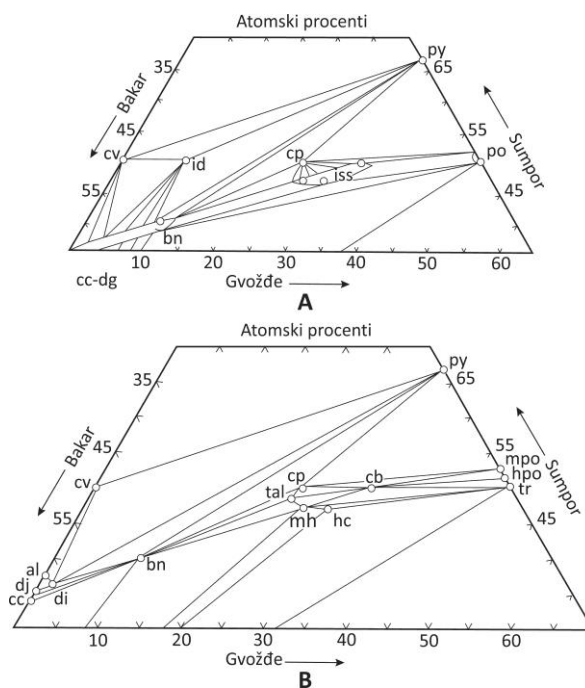
Stadijum obrazovanja minerala i parageneza. *Asocijacija minerala* je skupina minerala koji se prostorno zajedno javljaju u prirodi i ovaj termin ne podrazumeva genetske odnose među njima. Minerali koji se javljaju u asocijaciji mogu biti istovremeno obrazovani istim geološkim

procesima obrazovanja ili mogu biti različite starosti, obrazovani različitim procesima. Jedan proces obrazovanja minerala zapravo predstavlja jedan *stadijum* obrazovanja. Genetska klasifikacija stadijuma obrazovanja prati klasifikaciju postanka minerala, i na taj način, moguće je razlikovati sledeće osnovne stadijume obrazovanja minerala: magmatski, pegmatitski, pneumatolitsko-hidrotermalni, hidrotermalni (visoko-, srednje-, nisko-temperaturni), kontaktno-metasomatski, regionalno metamorfni i sedimentni. Minerali koji su obrazovani u okviru jednog stadijuma, istovremeno ili u bliskom vremenskom intervalu, pri istim ili veoma sličnim fizičko-hemijskim uslovima i iz istog fluida, predstavljaju jednu *paragenezu* minerala.

Pojedini česti minerali kao što su pirit, hematit i dr, imaju veoma široko polje stabilnosti i mogu biti obrazovani različitim geološkim procesima (magmaški, hidrotermalno, kontaktno i regionalno metamorfno, sedimentno). Usled toga, njihovo prisustvo ne može da ukaže na neku karakterističnu asocijaciju ili paragenezu minerala. S druge strane, pojedini minerali se javljaju samo u određenim sredinama obrazovanja (npr. piroluzit je vezan gotovo uvek za sedimentne uslove obrazovanja) ili čak, nastaju samo u određenim stadijumima obrazovanja (npr. hromit nastaje samo ranomagmatski). Ovakvi minerali se nazivaju *tipomorfni* minerali i njihovo prisustvo u nekoj asocijaciji je prilično značajno, jer ukazuje na određeni stadijum ili sredinu obrazovanja minerala. Na primer, sfalerit i galenit, koji su tipični hidrotermalni minerali, svakako ne treba očekivati u asocijaciji sa hromitom. Međutim, tipomorfni minerali mogu samo da "ukazuju" na neku karakterističnu asocijaciju i da navode na prisustvo još nekih specifičnih minerala te asocijacije. Imajući u vidu prethodno navedenu definiciju *mineralne asocijacije*, prisustvo bilo kojeg minerala u asocijaciji ne

može biti u potpunosti isključeno. Na kraju, prisustvo jednog neuobičajenog minerala u uzorku (npr. mineral iz grupe telurida) nagoveštava mogućnost pronalaza i drugih sličnih minerala u toj asocijaciji.

Ravnoteža faza. Brojna proučavanja ravnoteže sulfidnih faza pokazala su da je u većini sulfidnih ruda uspostavljena ponovna ravnoteža faza tokom hlađenja i da su sada ove rude predstavljene asocijacijama minerala koje su stabilne na temperaturama nižim od 100-200°C. Takav jedan primer za pojavu sulfida bakra prikazan je na slici 11. Za većinu ruda bakra, olova, srebra i nikla, niskotemperaturni fazni dijagrami pružaju nagoveštaje u mogućim mineralnim asocijacijama. Na primer, ako se koristi sistem Cu-Fe-S (sl. 11), a identifikovani su pirit i halkopirit u polimineralnom



Slika 11. Fazne relacije u centralnom delu Cu-Fe-S sistema: **A** – šematski odnosi na 300°C; **B** – mogući fazni odnosi na 25°C. (Vaughan & Craig, 1978). Skraćenice: cc – halkozin, dj – đurleit, di – digenit, al – anilit, cv – kovelin, bn – bornit, id – idait, cp – halkopirit, tal – talnahit, mh – moihukit, hc – hajkokit, cb – kubanit, mpo – monoklinični pirotin, hpo – heksagonalni pirotin, tr – troilit, py – pirit, iss – intermedijarni čvrsti rastvor.

rudonosnom uzorku, može se očekivati i prisustvo jedne od susednih faza u sistemu, piritina ili bornita, ali ni u kojem slučaju prisustvo obe ove faze.

S druge strane, refraktorni sulfidi kao što su pirit, arsenopirit i sfalerit, predstavljaju značajne izuzetke, jer često zadržavaju sastav i teksturne karakteristike primarnih uslova obrazovanja koji se obično odigravaju na višim temperaturama od prethodno pomenutih. Oksidni minerali, koji su refraktorniji od sulfida, generalno se pojavljuju u mineralnim asocijacijama na sličan način na koji su prikazani u odgovarajućim faznim dijagramima. Na kraju, fazni dijagrami predstavljaju vodiče prema mogućim, ali ne i obaveznim asocijacijama minerala.

Teksture minerala. Tekstura (lat. *textura* – tkanje, sklop, spoj) predstavlja prostorni odnos (kontakt) dva ili više minerala. Teksture minerala zapravo reflektuju uslove obrazovanja minerala, zbog čega su one naročito značajne i predstavljaju glavni predmet ispitivanja mineralnih parageneza. Međutim, pojedini karakteristični odnosi minerala (tj. teksture) mogu da budu od značaja i za prepoznavanje minerala, što je glavni cilj rudne mikroskopije. Takav jedan primer predstavlja već pomenuto kapljičasto (emulziono) prisustvo halkopirita u sfaleritu (videti sfalerit, str. 100).

Postoji više tipova dobro definisanih tekstura, a generalno se mogu svrstati u *teksture primarnog deponovanja* (primarne teksture), obrazovane direktnom kristalizacijom minerala iz fluida i *teksture transformacija* (sekundarne teksture), nastale naknadnim promenama, tj. nakon kristalizacije minerala. Kako je već pomenuto da su teksture minerala predmet proučavanja mineralnih parageneza, discipline koja se nadovezuje na rudnu mikroskopiju, ovde će biti pomenute samo osnovne i najčešće teksture minerala, a to su

tekstura prorastanja (primarna tekstura) i teksture izdvajanja i zamenjivanja (sekundarne teksture).

Prorastanje. Pojedini minerali u nekoj asocijaciji mogu uvek zajedno da se javljaju u vidu međusobno sraslih zrna, bez neke naročite pravilnosti u načinu srastanja. U ovakvom slučaju, za ove minerale možemo jednostavno reći da pokazuju teksturu prorastanja. Ova tekstura je česta kod polimineralnih rudonosnih agregata i obrazovana je istovremenom kristalizacijom minerala (najčešće eutektičkom kristalizacijom). Ovakav primer teksture može se uočiti na slici 10, na kojoj galenit, halkopirit, tetraedrit i u manjoj meri sfalerit, pokazuju međusobno prorastanje obrazujući jedan polimineralni rudonosni agregat. Ovaj agregat je obrazovan iz jednog hidrotermalnog fluida, a po pukotinama i obodu zrna cementuje prethodno obrazovani (tj. stariji) pirit.

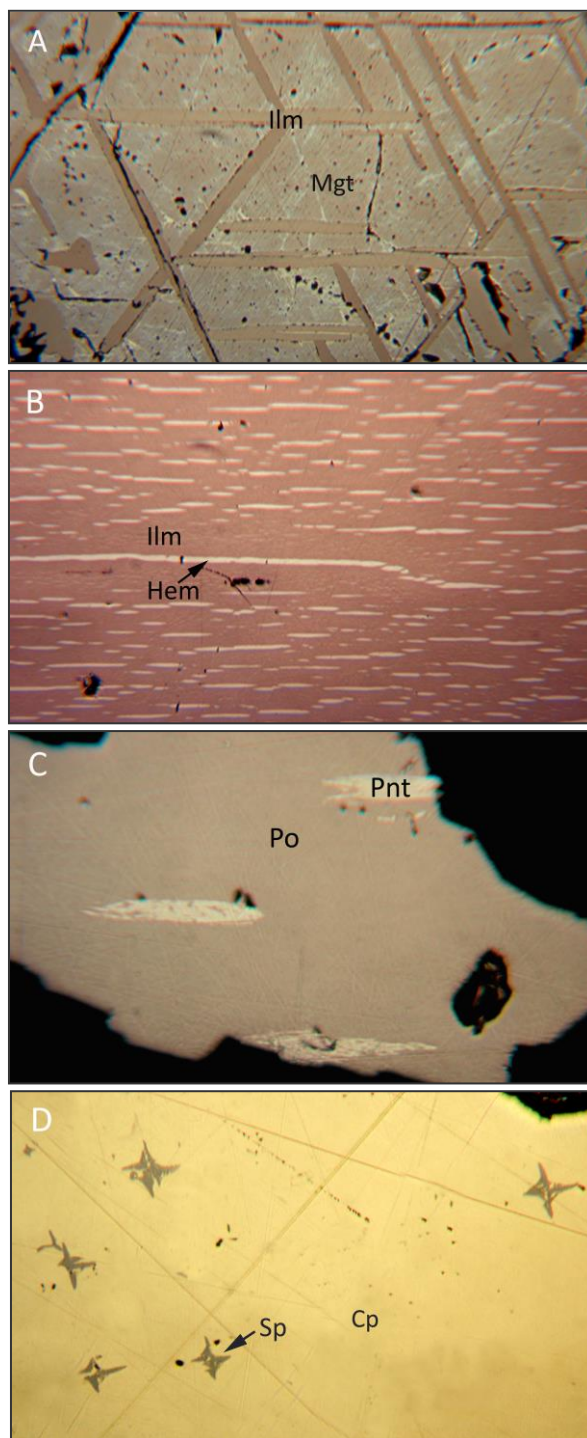
Teksture izdvajanja su često veoma upečatljive, od značajne su pomoći u prepoznavanju minerala i genetskoj interpretaciji, a nastale su uglavnom raspadom čvrstih rastvora. Najpre se izomorfim zamenjivanjem jona (češće katjona) u kristalnoj rešetki obrazuju tzv. čvrsti rastvori koji su uobičajena i rasprostranjena pojava kako kod silikata, tako i kod sulfida i drugih nesilikata. Zatim, laganim hlađenjem minerala dolazi do preuređenja kristalne rešetke usled čega neki element koji se izomorfom zamenom nalazio u kristalnoj rešetki, sada biva "izbačen" obrazujući zasebnu fazu odnosno *izdvajanje*. S obzirom da se zapravo radi o preuređenju kristalne rešetke, izdvojena faza tj. mineral, uglavnom se javlja po određenim kristalografskim pravcima matičnog minerala. Neki karakteristični primeri izdvajanja prikazani su na slici 12; lamelarno izdvajanje ilmenita po pravcu (111) u magnetitu (sl. 12A), lamelarno do sočivasto izdvajanje hematita u ilmenitu i obrnuto

ilmenita u hematitu, po pravcu (0001) (sl. 12B), zatim, plamenasto izdvajanje pentlandita u pirotinu (sl. 12C) i zvezdasto izdvajanje sfalerita u halkopiritu (sl. 12D). Već pomenuto emulziono izdvajanje halkopirita u sfaleritu (str. 100) je i najčešći tip izdvajanja koji se zapaža u preparatima, mada prema nekim istraživanjima, ova tekstura zapravo predstavlja prorastanje ili čak i teksturu zamenjivanja. Navedene, kao i druge teksture izdvajanja, uglavnom pokazuju temperaturnu zavisnost, usled čega su veoma značajne za genezu ležišta jer mogu da se koriste kao geotermometri.

Teksture zamenjivanja su veoma rasprostranjene u raznim asocijacijama minerala, a nastale su kao rezultat naknadnih hemijskih reakcija i promena na površini minerala. Ovim promenama su najpre zahvaćeni rubovi zrna, pukotine ili neki drugi predisponirani pravci u mineralu (npr. pravci savršene cepljivosti) po kojima se hemijska reakcija intenzivnije odigravala. Na taj način se ovaj tip teksture lako prepoznaje i pouzdano razlikuje od ostalih teksturnih tipova, a na osnovu ovakvih transformacija minerala moguće je sagledati naknadne geološke procese koji su se odvijali u datoj sredini.

Teksture zamenjivanja mogu biti uzrokovane: 1) dejstvom samog fluida iz kojeg je mineral obrazovan, zatim 2) dejstvom nekog naknadnog fluida i 3) površinskom alteracijom minerala kojom su obrazovani sekundarni minerali kao produkti alteracije, što predstavlja najčešći tip zamenjivanja koji se zapaža u rudama. Zbog nestabilnosti u oksidacionoj sredini, sulfidne rude su naročito podložne površinskim alteracijama. Na slici 13 dati su neki primeri zamenjivanja za sva tri prethodno navedena slučaja.

Teksture zamenjivanja su veoma česte kod nekih minerala i mogu da budu od značajne pomoći za njihovo prepoznavanje. Na primer, karakteristično je zamenjivanje magnetita hematitom (videti str. 68), što pomaže u



Slika 12. Pojedine karakteristične teksture izdvajanja (A-C ulje, D – vazduh; //N, širina mikrofografija ~0.5 mm): **A** – lamelarno izdvajanje ilmenita (Ilm) u magnetitu (Mgt) po (111) (Ti-Fe ležište Vežanja, Tara); **B** – sočivasto do lamelarno izdvajanje hematita (Hem) u ilmenitu (Ilm) po bazi; **C** – plamenasto izdvajanje pentlandita (Pnt) u pirotinu (Po); **D** – zvezdasto izdvajanje sfalerita (Sp) u halkopiritu (Cp) (Ni-Cu-Co ležište Voisey's Bay, Labrador, Kanada).

6. Fe sulfidi

Tabela 5. Fe sulfidi (uključujući i arsenide i antimonide), koji su od značaja za rudnomikroskopska ispitivanja.

<i>Najznačajniji</i>		<i>Ostali</i>	
Pirit, FeS ₂	6.1	Lelingit, FeAs ₂	6.5
Markasit, FeS ₂	6.2	Gudmondit, FeSbS	6.6
Pirotin, Fe _{1-x} S	6.3	Maknavit, (Fe,Ni) _{1+x} S	6.6
Arsenopirit, FeAsS	6.4	Greigit, Fe ₃ S ₄	6.6

Gvožđe je jedan od osam najzastupljenijih elemenata u zemljinoj kori sa prosečnim sadržajem od 4.65[†] mas.%. S obzirom na relativno veliku zastupljenost ovog metala u prirodi i osobine da pokazuje kako litofilni tako i halkofilni i siderofilni karakter, ovaj metal je prisutan u prilično velikom broju minerala iz svih grupa (silikati, sulfidi, oksidi, itd.). Najznačajniji minerali - rude gvožđa su iz grupa oksida i hidroksida koji su prikazani u narednom poglavlju. Pored ovih minerala, još i Fe karbonat - siderit, a u manjoj meri i pojedini Fe silikati iz grupe hlorita predstavljaju rudu gvožđa.

S druge strane, Fe minerali iz grupe sulfida nisu rudni minerali, zbog nepovoljnosti njihove prerade. Međutim, kako su pirit i pirotin najzastupljeniji sulfidi u zemljinoj kori i često predstavljaju i najzastupljenije sulfide u rudnim ležištima, ova grupa minerala (Fe sulfidi) je od velikog značaja za rudnomikroskopska ispitivanja. U nekim slučajevima ovi minerali mogu da sadrže inkluzije odnosno fina zrna pojedinih rudnih minerala, kada se i oni sami tretiraju kao

rude u procesu pripreme i prerade mineralnih sirovina. Na primer, zlato se često koncentriše u piritu i arsenopiritu, a mineral nikla pentlandit u pirotinu.

U istraživanju rudnih ležišta često je u upotrebi termin "piritska mineralizacija" bez obzira što pirit, kako je već objašnjeno, nije rudni mineral. Ovakve mineralizacije ipak mogu biti od značaja za dalja istraživanja. Fina zrna zlata ili galenita, halkopirita i drugih rudnih minerala koja mogu da se nađu u piritu, pored prethodne mogućnosti njihovog dobijanja iz pirita (prvenstveno se odnosi na zlato), mogu da ukazuju na Pb-Zn, Cu ili druge tipove orudnjenja u blizini.

Pirit može da se koristi za dobijanje sumporne kiseline, međutim, tokom eksploatacije i prerade rude, pirit, pirotin, arsenopirit i ostali Fe sulfidi uglavnom bivaju odlagani na rudnim jalovištima. S obzirom da su sulfidni minerali podložni alteraciji u oksidacionim (površinskim) uslovima uz oslobađanje sumpora u vidu sumporne kiseline, ovi minerali zapravo predstavljaju potencijalne zagađivače životne sredine.

Pored već pomenutog obimnog prisustva pirita i pirotina u većini sulfidnih ležišta, ova dva sulfida gvožđa su od značaja i za petrografska ispitivanja, jer su kao akcesorni minerali prisutni (naročito pirit) u mnogim magmatskih, metamorfnih i sedimentnim stenama.

[†] Postoji više izvora podataka koji daju različite vrednosti prosečnih sadržaja elemenata u zemljinoj kori. Prosečni sadržaji u ovom udžbeniku dati su prema Vinogradovu, iz razloga što su ovi sadržaji uglavnom korišćeni u domaćoj literaturi. Novije i relevantnije podatke o prosečnim sadržajima svakako treba pre uzeti u obzir, mada, ovi noviji podaci pokazuju prilično slične vrednosti sa sadržajima prema Vinogradovu. Za pojedine elemente za koje se ovi podaci znatnije razlikuju (Au, Pt, Ni), te razlike su naglašene i opisane u samom tekstu.

6.1 PIRIT, FeS₂ (teseralno)

OPTIČKA SVOJSTVA I RELJEF (Slika 23)	
Boja	Kremžuta.
R%	Visoka refleksija (R 54%).
A/I	Izotropan. Može da pokazuje slabu do jasnu anizotropiju, naročito na lošije ispoliranim površinama. Ova lažna anizotropija izazvana je površinskim deformacijama nastalim tokom poliranja preparata.
U.R.	Nema unutrašnje refleksije.
Tv.	Visok reljef (tv. 6-6.5).

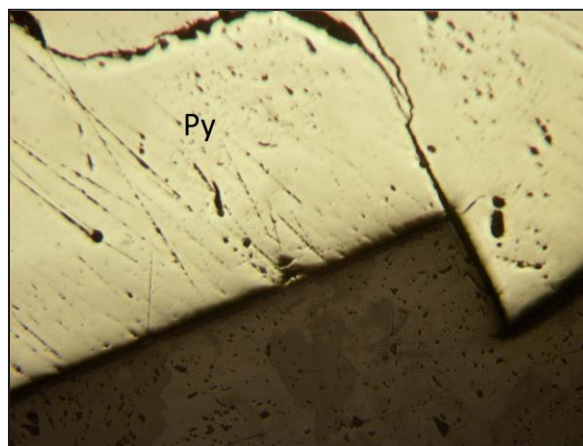
Makroskopski: bleđa mesinganožuta boja, crnog ogreba, neprovidan, metaličan.

Hemizam. Pirit je obično hemijski čist, ali s obzirom da je veoma čest mineral, može da sadrži i određene hemijske primese. Nikl i kobalt su najčešće primese koje izomorfno zamenjuju gvožđe u strukturi minerala (varij. bravoit, (Fe,Ni,Co)S₂; min. vaesit, NiS₂ i katijerit, CoS₂, str. 141).

U ranijoj literaturi navedeno je da Cu samo u ređim slučajevima zamenjuje Fe u piritu (min. *fukučilit*, (Cu,Fe)S₂ i *vilamaninit*, (Cu,Ni,Co,Fe)S₂). Međutim, izgleda da je ovaj tip izomorfizma u kojem je bakar prisutan do nekoliko mas.%, nešto češća pojava u visoko-sulfidacionim epitermalnim Cu ležištima (Pačevski *et al.* 2008, 2012 i druga sopstvena opažanja autora).

S druge strane, sumpor je najčešće zamenjen arsenom, do 17 mas.% As (varij. arsenki pirit), a ponekad može biti zamenjen selenom (min. *džarkenit*, FeSe₂).

Forma. Pirit pokazuje veoma raznovrsne načine pojavljivanja. Najčešće obrazuje anhedralna do euhedralna zrna, kao i zrnaste i masivne agregate. Kolomorfni pirit i framboidalni pirit se takođe relativno često javljaju, a predstavljaju specifične forme pojavljivanja ovog minerala, usled čega su ove forme zasebno opisane na sledeće dve strane. U pojedinim slučajevima pirit obrazuje i druge specifične forme kao što su porozni, tj. sunderasti ("*spangy*") pirit, zatim, pseudomorfoze, oolite, itd.



Slika 23. Pirit (Py) pokazuje visoku refleksiju, kremžutu boju i visok reljef u odnosu na karbonatnu jalovinu koja pokazuje birefleksiju u sivoj boji (svetlo siva – tamno siva). Reljef piritu je prilično naglašen usled završnog poliranja preparata glinicom (videti uticaj poliranja na sl. 8, str. 29) (vazduh, //N, širina mikrofografije ~1 mm). Preparat 2012, studentska zbirka – F1.

Ovaj mineral pokazuje jaku tendenciju idiomornog razvića kristala usled čega se često javlja u euhedralnim kristalima oblika heksaedra, oktaedra, pentagondodekaedra ili složenih oblika kristala. Kao posledica naglašenog idiomornog razvića, pirit često biva pogrešno interpretiran kao ranije obrazovani mineral u nekoj asocijaciji u kojoj je ustvari istovremeno obrazovan sa ostalim mineralima. U nekim slučajevima idiomorfni kristali veličine do nekoliko cm ili sasvim retko, čak i nekoliko desetina centimetara, zapravo predstavljaju porfiroblaste koji su obrazovani metamorfnim procesima i ovi kristali obično sadrže inkluzije odnosno uklopke drugih minerala.

Zonarnost često može biti prisutna u piritu, a pored toga što je uobičajeno uzrokovana prisustvom hemijskih primesa (videti hemizam), takođe može da potiče i od prisustva inkluzija, razlikama u poroznosti zona rasta kristala ili povremenim prekidima u procesu rasta kristala.

Postanak i asocijacija. Pirit se javlja kao akcesoran mineral u gotovo svim stenama i veoma je čest u rudnim ležištima, usled čega može da se javi u asocijaciji sa gotovo svim mineralima.

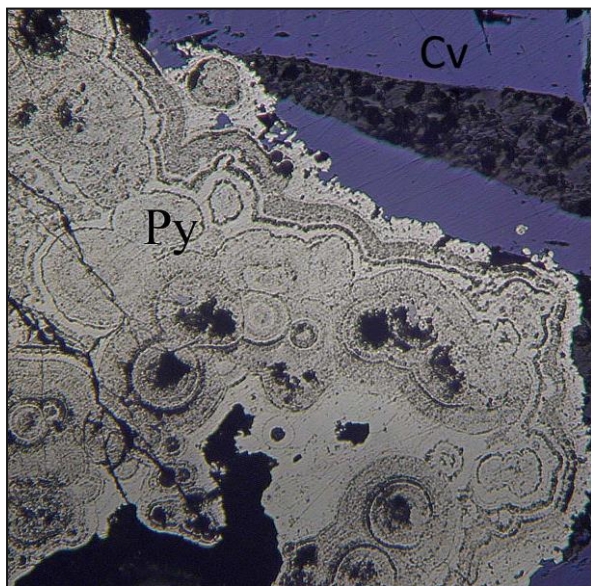
U magmatskom stadijumu predstavlja akcesoran mineral u intruzivnim stenama, a u nekim masivnim sulfidima koji predstavljaju likvacione segregate može biti zastupljen i u značajnim količinama.

U kasnijim fazama vulkanske aktivnosti često se obrazuje intenzivna piritizacija stena kao jedan od tipova alteracije, usled čega je pirit veoma zastupljen i kao alteracioni mineral vulkanskih stena.

Za obrazovanje piritu je svakako najznačajniji hidrotermalni stadijum i to u celom opsegu, tj. od visoko- do niskotemperaturnog. Tako je pirit veoma zastupljen, a usled prethodno opisane pojave piritu u okolorudnim promenama (hidrotermalnim alteracijama), često je i najzastupljeniji sulfid u nekim tipovima ležišta (npr. porfirska Cu ležišta).

Pirit nastaje i pegmatitski, kontaktno i regionalno metamorfno, sedimentno, čak i površinskim alteracijama, odnosno recentno.

Dijagnostičke osobine. Pirit je veoma čest mineral, prisutan u većini rudnih asocijacija i relativno se lako prepoznaje još na početku pregleda preparata, na osnovu visokog reljefa, boje i izotropije.



Slika 24. Pojava koncentrično-slojevitih do trakastih agregata kolomorfog piritu (Py) u asocijaciji sa kovelinom (Cv) (vazduh, //N, širina mikrografije ~1.5 mm).

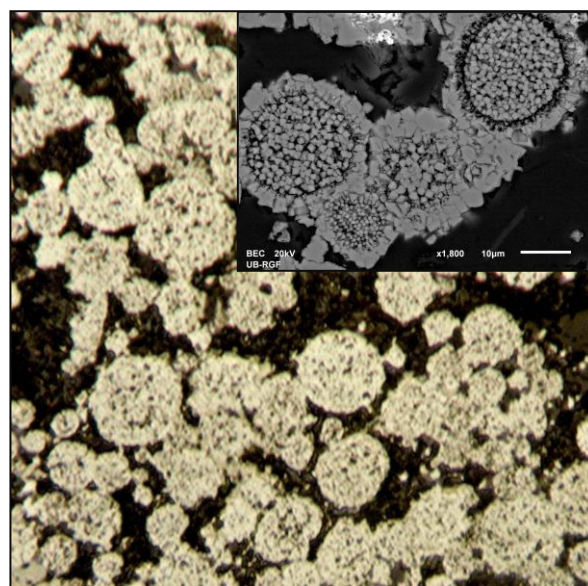
Teksturni varijeteti - KOLOMORFNI PIRIT

(sinonimi: *meljnikovit*, kristalizovan *gelsi pirit*)

Ovaj tip piritu koji pokazuje karakteristične ovalne do trakaste forme agregata koncentrične građe (sl. 24), zapravo se sastoji od veoma finih pritkastih do fibroznih i radijalno zrakastih kristalita, nastalih naknadnom kristalizacijom prvobitno deponovane gelske mase, pri čemu amorfna masa može da ostane delimično sačuvana.

Ova karakteristična forma piritu obično nastaje naglim obaranjem gelske mase u niskotemperaturnoj odnosno relativno hladnoj sredini, u površinskim ili potpovršinskim uslovima. Iz tog razloga, uglavnom ukazuje na sedimentni, vulkanogeno-sedimentni ili niskotemperaturno hidrotermalni način postanka. Međutim, treba biti obazriv prilikom genetskih interpretacija i uzeti i ostale geološke činjenice u razmatranje, jer kolomorfni pirit može biti obrazovan i hidrotermalno u šupljinama vulkanskih stena.

Kolomorfni pirit pokazuje određene razlike u odnosu na uobičajeni pirit, a te razlike su: ponekad braonkasta nijansa u boji, niža refleksija, niža tvrdina i znatno veća osetljivost na površinsko raspadanje.



Slika 25. Framboidalni piritu iz ležišta Čoka Marin (vazduh, //N, širina mikrografije ~0.4 mm). Umetak pokazuje formu framboidalnog piritu pod SEM-om (slika sekundarnih elektrona).

Teksturni varijeteti - FRAMBOIDALNI PIRIT

(sinonim: "piritisane bakterije")

Ponekad se dešavaju zabune oko ovog tipa pirita i neki oblici pirita ovalnog oblika (najčešće kolomorfni pirit) bivaju pogrešno interpretirani kao framboidalni pirit. Međutim, framboidalni pirit (slika 25) ima veoma jasne i specifične dijagnostičke osobine. To je pirit kružne ili ovalne forme (framboid) prečnika najčešće 5-30 μm , ali koji se sastoji od pojedinačnih, često euhedralnih zrna veličine $\sim 1 \mu\text{m}$ kao osnovne izgrađivačke jedinice. Ovakve kuglaste forme podsećaju na malinu, a sam termin "framboid" potiče od francuske reči "*la framboise*", što u prevodi znači malina. *Ramdohr* (1980) navodi da je ovakva forma pirita navela *Schneiderhöhn*-a na tumačenje framboida kao mineralizovanih bakterija (*mineralized bacteria*), pri čemu bi sićušna zrna $\sim 1 \mu\text{m}$ mogla predstavljati spore

bakterija. I zaista, framboidalni pirit se najčešće javlja u sedimentnim stenama svih starosti, a takođe i u recentnim marinskim i jezerskim nekonsolidovanim sedimentima. Međutim, kako je njegovo prisustvo utvrđeno i u hidrotermalnim ležištima i vulkanskim stenama, a hidrotermalnim sintezama je ustanovljeno da za njegovo obrazovanje nije neophodno prisustvo organske materije (npr. *Butler & Rickard*, 2000), termin "*mineralized bacteria*" gubi na značaju. Ipak, prisustvo framboidalnog pirita u uzorku u najvećem broju slučajeva ukazuje na sedimentno poreklo uzorka ili mineralizacije. Uprkos brojnim ispitivanjima prirodnih i sintetičkih framboidalnih pirita još od pedesetih godina prošlog veka, još uvek nije nađen jedinstven, odnosno zadovoljavajući model kojim bi se objasnio proces obrazovanja ove veoma upečatljive forme pirita.

6.2 MARKASIT, FeS₂ (rombično)

OPTIČKA SVOJSTVA I RELJEF (Slika 26)	
Boja	Svetlokrem do kremžuta boja sa slabom zelenkastom, ponekad ljubičastoplavom primesom; jasan pleohroizam.
R%	Visoka refleksija (R 48-56%); slaba do jasna birefleksija.
A/I	Jaka anizotropija (plava, žutozelena, purpurnosiva boja).
U.R.	Nema unutrašnje refleksije.
Tv.	Visok reljef (tv. 6-6.5).

Makroskopski: svetla žutosiva boja, crnog ogreba, neprovidan, metaličan.

Hemizam. Uglavnom je hemijski čist, a od primesa najčešće sadrži arsen.

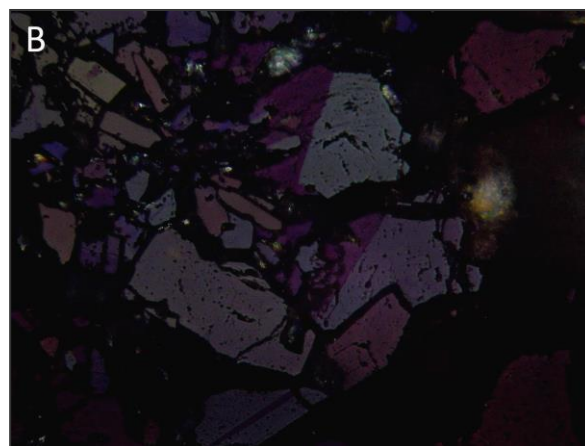
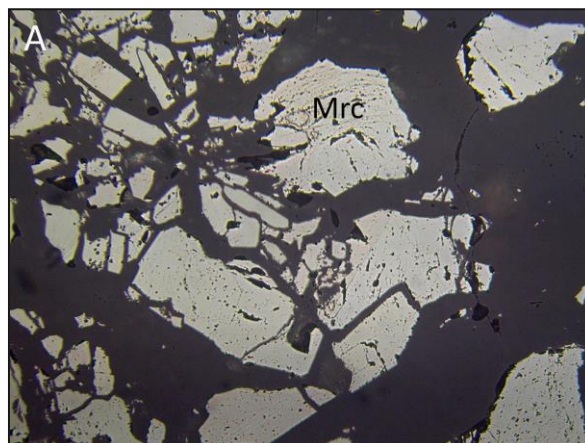
Forma. Može da obrazuje tabličaste kristale // (010), a isto tako i prizmatične i piramidalne euhedralne forme, ponekad kopljastog preseka. Ipak, uglavnom se javlja u zrnastim i masivnim agregatima, a relativno često obrazuje i radijalno zrakaste i bubrežaste forme agregata.

Bližnjenje je gotovo uvek prisutno u markasitu i predstavlja još jednu dijagnostičku osobinu ovog minerala. Karakter bližnjenja značajno varira, od pojave svega nekoliko krupnijih bliznih individua ili lamela unutar zrna, do pojave brojnih veoma tankih lamela, a moguće su i kombinacije oba ova načina bližnjenja.

Postanak i asocijacija. Markasit nastaje uglavnom niskotemperaturno hidrotermalno iz kiselih rastvora, u završnim etapama hidrotermalnih aktivnosti (asocijacija: pirit, Pb-Zn minerali, As minerali, cinabarit i dr). Često obrazuje pseudomorfoze po drugim sulfidima, a postaje i sekundarno, najčešće alteracijom piritina.

Nastaje i sedimentno, u glinovitim sedimentima, krečnjacima i ugljevima.

Često se javlja u asocijaciji sa piritom, pri čemu je markasit u odnosu na pirit metastabilan polimorf i prelazi u pirit. Mada, može da se zadrži kao markasit čak i u



Slika 26. Markasit (Mrc) pokazuje visoku refleksiju, jasan pleohroizam, jaku anizotropiju sa karakterističnim anizotropnim bojama i bližnjenje (A – //N, B – xN, širina mikrografija ~1 mm). Preparat 6223, studentska zbirka – F1.

starijim (npr. paleozojskim) formacijama, što je genetski nedovoljno razjašnjeno.

Na atmosferskim uslovima je reaktivan u velikoj meri i brzo se raspada u uslovima povećane vlažnosti, usled čega dolazi do stvaranja sumporne kiseline i sulfata.

Dijagnostičke osobine. Prilično je sličan arsenopiritu od kojeg se razlikuje po nijansi u boji, jačoj anizotropiji i izraženijem pleohroizmu. Na početku pregleda može se pogrešno identifikovati kao pirit, ali upotrebom ukrštenih nikola, pogrešna determinacija se brzo ispravlja, a na osnovu jake anizotropije često se utvrđuje njegovo sporadično prisustvo u masivnom piritu.

6.3 PIROTIN, Fe_{1-x}S (mon/heks)

OPTIČKA SVOJSTVA I RELJEF (Slika 27)	
Boja	Krem-ružičastomrka boja; jasan pleohroizam, u ulju jak.
R%	Srednja do visoka refleksija (R 34-44%), slaba do jasna birefleksija.
A/I	Jasna do jaka anizotropija (plavičaste, mrkožute i ljubičaste nijanse sive boje).
U.R.	Nema unutrašnje refleksije.
Tv.	Srednji reljef (tv. 3.5-4.5).

Makroskopski: bronzanobraon boja, tamnosivog do crnog ogreba, neprovidan, metaličan, magnetski.

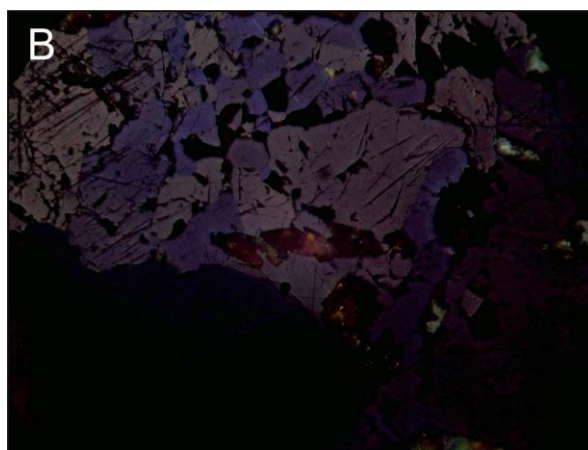
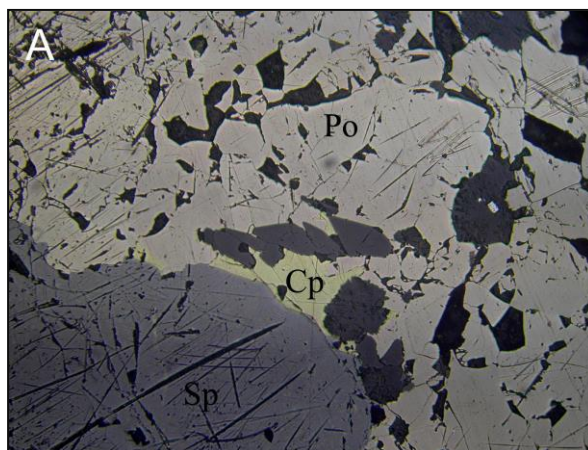
Hemizam. Monosulfid gvožđa idealne stehiometrije i sastava FeS je zapravo mineral *troilit* (kristališe heksagonalno i pokazuje optičke osobine veoma slične pirotinu). Ovaj mineral se javlja u meteoritima dok je na Zemlji retko prisutan samo u nekim likvacionim ležištima i serpentinitima. S druge strane, pirotin koji je veoma zastupljen u zemljinoj kori, karakteriše se deficitom gvožđa u opsegu $x = 0 - 0.17$ (x iz formule minerala), pri čemu usled varijacije u Fe deficitu nastaju različiti strukturni tipovi pirotina (politipizam pirotina).

Pirotin najčešće sadrži primese Ni i Cu koje mogu biti prisutne u značajnoj meri na visokim temperaturama (*varij.* niklonosni pirotin i halkopirotin), a u toku hlađenja ovakvih pirotina dolazi do izdvajanja pentlandita, halkopirita i kubanita.

Forma. Uglavnom se javlja u masivnim agregatima anhedralnih zrna. Retko obrazuje idiomorfne kristale koji su u tom slučaju pločasti // (0001).

Visokotemperaturni pirotin često pokazuje lamelarnu građu koja se dobro otkriva nagrizanjem, a obrazovana je procesima dekompozicije i transformacije tokom hlađenja. Sastoji se od lamela koje se razlikuju po debljini, pri čemu one mogu biti vretenastih, plamenastih i drugih oblika.

Često sadrži karakteristična plamenasta i druga izdvajanja pentlandita (sl. 12C, str. 36), naročito u rudama nikla.



Slika 27. Pirotin (Po) koji se javlja u asocijaciji sa halkopiritom (Cp) i sfaleritom (Sp), pokazuje karakterističnu boju, jasan pleohroizam i jaku anizotropiju (vazduh, A – //N, B – xN, širina mikrografija ~1 mm).

Cepljivost kod pirotina // (0001) može biti dobro uočljiva kada je započeta njegova površinska alteracija. Inače, pirotin je veoma podložan površinskoj alteraciji, a tragovi izmena na njemu mogu da se uoče i u dubljim delovima ležišta. Postoji više tipova alteracija pirotina, a jedan od najčešćih pokazuje karakterističnu teksturu, tzv. "ptičje oči" ("birds eye"). U ovoj alteraciji se na površini pirotina obrazuju ovalna koncentrična tela (nalik na ptičje oči) koja su sačinjena od fino-zrnih intermedijarnih produkata alteracije, markasita i/ili pirita. Drugi čest tip alteracije je takođe predstavljen markasitom koji obrazuje linearne ili vrpčaste forme //(0001).

Kao produkti alteracije pirotina mogu se zajedno obrazovati sulfidi i oksid/hidroksidni gvožđa (npr. prorastanje pirita i magnetita, kroz moguću reakciju $6\text{FeS} + 4\text{O} = 3\text{FeS}_2 + \text{Fe}_3\text{O}_4$).

Postanak i asocijacija. Uglavnom je visokotemperaturni mineral koji se javlja u opsegu magmatskog, pegmatitskog i visokotemp.-hidrotermalnog stadijuma, kao i kontaktno-metamosatski.

U magmatskim stenama, naročito ultrabazičnim i bazičnim, predstavlja akcesorni mineral kada je obično u asocijaciji sa halkopiritom i pentlanditom, a u vidu likvacija obrazuje, zajedno sa prethodno pomenutim i drugim sulfidima,

likvaciona Ni-Cu ležišta. U manjoj meri, u ranomagmatskom stadijumu prati i kristalizacione diferencijate oksidne faze, tj. hromita i titanomagnetita. Hidrotermalni pirotin je često prisutan u Pb-Zn i polimetaličnim ležištima, Au žicama i drugim tipovima mineralizacija.

U značajnijim količinama može biti obrazovan i kontaktnim i regionalnim metamorfizmom. Prisutan je i u meteoritima.

Dijagnostičke osobine. Pirotin se relativno lako prepoznaje, prvenstveno po karakterističnoj nijansi boje. Rutinskim rudnomikroskopskim pregledom nije moguće sa sigurnošću odrediti različite tipove pirotina.

6.4 ARSENOPIRIT, FeAsS (monoklinično)

OPTIČKA SVOJSTVA I RELJEF (Slika 28)	
Boja	Beo sa slabom krem ili žutoružičastom primesom koja se uočava samo u prisustvu drugih minerala; slab pleohroizam, u ulju jasan.
R%	Visoka refleksija (R 52%).
A/I	Jasna do jaka anizotropija (plava, zelena, mrkožuta i crvenoljubičasta).
U.R.	Nema unutrašnje refleksije.
Tv.	Visok reljef (tv. 5.5-6).

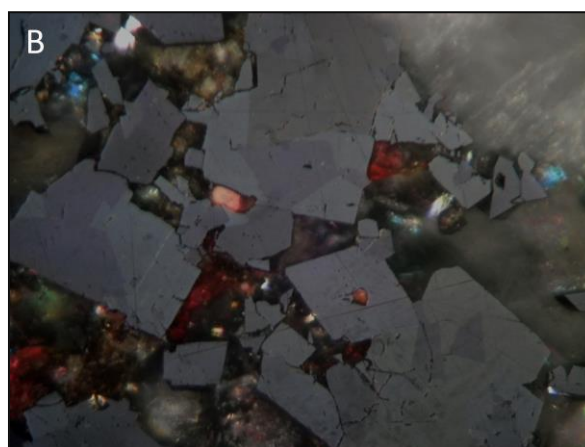
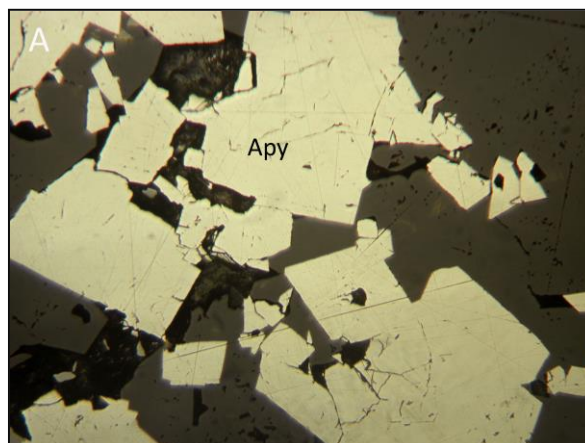
Makroskopski: čeličnosive do srebrnobeke boje, crnog ogreba, metaličan, neprovidan.

Hemizam. Karakteriše se nestehiometrijom u As:S odnosu, pri čemu ovaj odnos može da se koristi kao geotermometar.

Od hemijskih primesa najčešće sadrži kobalt čiji sadržaji mogu biti i znatno povišeni, do odnosa Fe:Co = 2:1 (~12% Co, varij. *danait*) ili čak do Fe:Co = 1:6 (varij. *glaukodot*). Ređe sadrži Sb i Ni primese.

Forma. Kristališe monoklinično, ali se javlja u suphedralnim do euhedralnim pseudorombičnim kristalima koji u preparatu često pokazuju karakteristične preseke romba (sl. 28). Ponekad se javlja u stubičastim formama kristala //(010). Takođe obrazuje masivne i zrnaste agregate. Lamelarno bližnjenje je često, a javlja se i prodorno bližnjenje, pri čemu je karakteristično "zvezdasto bližnjenje" tri individue po (012). Pored bližnjenja, arsenopirit često pokazuje i zonarnost, a ovo svojstvo minerala je naročito dobro ispoljeno usled procesa površinske alteracije i zamenjivanja koji selektivno zahvataju pojedine zone rasta kristala.

Prilikom mikroskopskog ispitivanja arsenopirita, treba imati u vidu da je to sulfid koji u najvećoj meri koncentriše mikroskopsko i submikroskopsko, tj. "nevidljivo" zlato. Zlato je često deponovano po mikropukotinama u arsenopiritu kako hipogenim tako i supergenim procesima (npr. u rudnim pojavama Gokčanice, pl. Željina, Pačevski, 2002).



Slika 28. Arsenopirit (Apy) pokazuje visoku refleksiju, jasnu anizotropiju i karakterističnu formu kristala (vazduh, A – //N, B – xN, širina mikrofografija ~1 mm). Preparat: Trepča-1 (Pb-Zn ležište Trepča, Srbija), studentska zbirka – F1.

Postanak i asocijacija. Ovaj mineral uglavnom nastaje u opsegu pegmatitskog, kontaktno-metasomatskog, visoko- do srednjetermurno hidrotermalnog stadijuma (asocijacija: pirit, sfalerit, galenit, halkopirit, pirotin, Bi minerali, zlato, šelit). Ređe se javlja niskotemperaturno hidrotermalno, zatim u gnajsevima i još nekim metamorfnim stenama.

Oksidacijom arsenopirita oslobađa se arsen (toksični element!), pri čemu nastaju arsenati (npr. *skorodit*, $\text{FeAsO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$) i drugi produkti oksidacije.

Dijagnostičke osobine. Arsenopiritu mogu biti slični prvenstveno lelingit i markasit (razlike: nijanse u boji; slabiji pleohroizam i anizotropija kod arsenopirita), ali isto tako i pojedini Ni-Co minerali.

6.5 LELINGIT, FeAs_2 (rombično)

OPTIČKA SVOJSTVA I RELJEF (Slika 29)	
Boja	Beo sa slabom krem primesom; jasan pleohroizam, od čisto bele do žutobeke boje.
R%	Visoka refleksija (R 52-56%), slaba do jasna birefleksija.
A/I	Jaka anizotropija (jaki bojeni efekti, karakteristična svetla sivoplava boja).
U.R.	Nema unutrašnje refleksije.
Tv.	Visok reljef (tv. 5-5.5).

Makroskopski: čeličnosive do srebrnobeke boje, sivocrnog ogreba, metaličan, neprovidan.

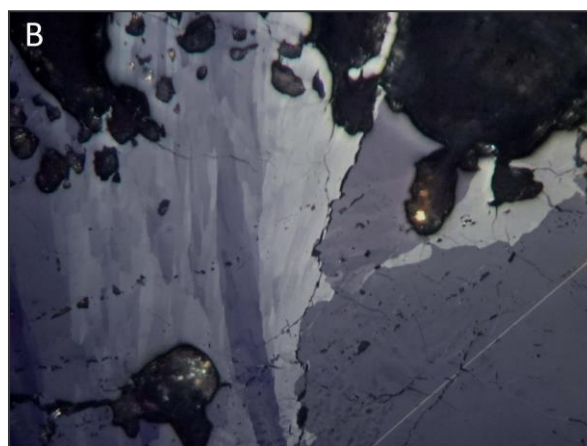
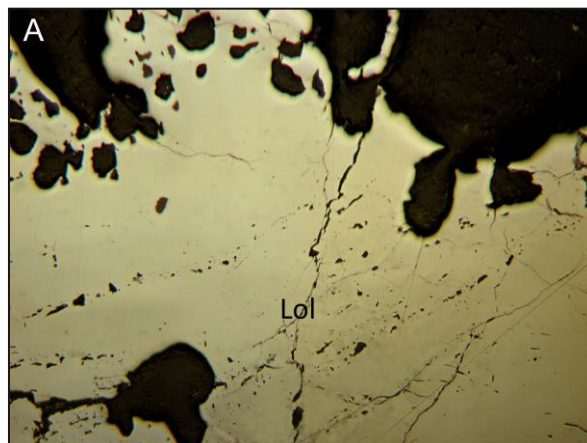
Hemizam. Može da sadrži Co, Ni, Sb i S primeše, pri čemu Co i Ni izomorfno zamenjuju Fe, dok Sb i u manjim količinama S, zamenjuju As u strukturi minerala. Ovaj mineral takođe pokazuje i nestehiometriju u odnosu Fe:As.

Forma. Lelingit ima izraženu tendenciju prema idiomorfnom razviću i uglavnom obrazuje prizmatične kristale $\parallel(001)$. Javlja se i u masivnim, zrnastim i radijalnim agregatima.

Često pokazuje bližnjenje, a pored polisintetičkog bližnjenja, formira i triplete po (011) slične "safloritskim zvezdicama" (saflorit, str. 145). Usled prisustva hemijskih primeša učestalo pokazuje i zonarnost.

Lelingit obrazuje teksture zamenjivanja sa arsenopiritom u oba pravca.

Postanak i asocijacija. Nastaje hidrotermalno, uglavnom u mezotermalnom stadijumu (asocijacija: arsenopirit i drugi minerali nosioci arsena, Ni-Co minerali, itd.).



Slika 29. Lelingit (Lol) pokazuje pleohroizam u belim do žućkastim nijansama i jaku anizotropiju sa karakterističnom svetlom sivoplavom bojom (A – $\parallel N$, B – $\times N$, širina mikrografija ~ 1 mm). Preparat 769, studentska zbirka – F1.

Takođe nastaje i na višim temperaturama u opsegu pegmatitskog do pneumatolitskog stadijuma.

Dijagnostičke osobine. Sličan je arsenopiritu, od kojeg se razlikuje po specifičnoj anizotropiji i izraženijem pleohroizmu. Može biti sličan i safloritu.

6.6 Ostali Fe sulfidi

Gudmondit, FeSbS. Kristališe monoklinično (pseudorombično) i pripada grupi arsenopirita. Optička svojstva: čisto bele do ružičastobeke boje, jasan pleohroizam; visoka refleksija (R 50-57%), jaka anizotropija u žutim i crvenim nijansama; bez unutrašnjih refleksa. Visok reljef (tv. 5-6). Od arsenopirita se razlikuje po prisustvu ružičaste nijanse, intenzivnijem pleohroizmu i jačoj anizotropiji.

Makroskopski: srebrnobela do čeličnosiva boja, sivocnog ogreba, metaličan, neprovidan.

Najčešće se javlja u finim (mikroskopskim) zrnima i obično je u sulfidnim ležištima prisutan u malim količinama. Nastaje hidrotermalno, uglavnom u kasnijim sukcesijama deponovanja minerala, usled kasnijeg obogaćenja fluida antimonom. Može nastati i naknadnim transformacijama prethodno obrazovanih Sb minerala, kada obrazuje tekstone zamenjivanja. Tako na primer, javlja se kao produkt transformacije tetraedrita (tetraedrit prelazi u gudmondit+arsenopirit+halkopirit+sfalerit) ili na reakcionom rubu tetraedrita i kasnije deponovanog pirotina. Gudmondit takođe može biti obrazovan na reakcionom rubu brajthauptita i halkopirita, zatim, zamenjivanjem burnonita i na druge slične načine. Ređe se javlja u stubičastim kristalima i idiomorfnim (idioblastičnim) formama. Nalazi se u asocijaciji sa prethodno pomenutim mineralima, galenitom, sfaleritom, Pb sulfosolima i drugim sulfidima.

Maknavit, (Fe,Ni)_{1+x}S ($x = 0-0.11$). Kristališe tetragonalno. Optička svojstva: ružičastosiva do siva boja, jak pleohroizam; niska do jaka

refleksija (R 17-43%), veoma jaka birefleksija; veoma jaka anizotropija (sivobela, plavičasta, braonkasta boja); ne pokazuje unutrašnje refleksije.

Makroskopski: bronzana boja, crn ogreb, metaličan, neprovidan. Međutim, najčešće se javlja u mikroskopskim veličinama zrna, tj. retko je makroskopski uočljiv.

Uglavnom obrazuje fina crvolika zrna i lamele u pirotinu, halkopiritu, kubanitu i pentlanditu, pri čemu često predstavlja produkt dekompozicije nestehiometrijskih visokotemperaturnih halkopirita, halkopirotina i nekih pentlandita. Takođe nastaje procesom serpentinizacije peridotita, zatim hidrotermalno, kao i u redukcionim uslovima u mulju korita reka.

Relativno se lake prepoznaje po veoma izrazitim optičkim osobinama, a najlakše se pronalazi u vidu "svetlih" zrna pri ukrštenim nikolima. Ipak, može biti prilično sličan sa valeritom (pogledati valerit, str. 97).

Greigit, Fe₃S₄ (ili Fe²⁺Fe³⁺₂S₄). Kristališe teseralno i pripada grupi tiospinela opšte formule X²⁺Y³⁺₂S₄, pri čemu su na X i Y položaju najčešće prisutni Fe, Co i Ni (videti Ni-Co minerale, str. 139).

Optička svojstva: bleđa krembela boja, srednja refleksija (R 35%), izotropan, bez unutrašnjih refleksa. Srednji reljef (tv. 4-4.5).

Makroskopski: bledoružičast, skramira do metalično plave, čađavocna kada se javlja u veoma fino-zrnim agregatima; crnog ogreba, metaličan, neprovidan, magnetičan.

Nastaje uglavnom sedimentno, u jezerskim sedimentima (glina, mulj, arkozni peščari). Može biti obrazovan u hidrotermalnim žičnim ležištima, a takođe i megnetotaktičkim i sulfat-redukujućim bakterijama.

7. Fe, Cr, Ti oksidi i hidroksidi

Tabela 6. Najznačajniji minerali (rude) gvožđa, hroma i titana i ostali minerali ovih metala koji su od značaja za rudnomikroskopska ispitivanja.

<i>Najznačajniji</i>	Lepidokorkit, γ -FeO(OH) 7.7
Hromit, FeCr ₂ O ₄ 7.1	Limonit, FeO(OH) x nH ₂ O 7.8
Magnetit, Fe ₃ O ₄ 7.2	<i>Ostali</i> 7.9
Hematit, Fe ₂ O ₃ 7.3	Spinel, X ²⁺ Y ³⁺ ₂ O ₄
Ilmenit, FeTiO ₃ 7.4	Ulvospinel, TiFe ₂ O ₄
Rutil, TiO ₂ 7.5	Maghemit, Fe ₂ O ₃
Getit, α -FeO(OH) 7.6	Anatas, TiO ₂

Minerali iz grupa oksida i hidroksida gvožđa, oksida hroma i titana, grupisani su i zajedno prikazani u ovom poglavlju zbog njihove genetske povezanosti, usled čega se i često javljaju u asocijaciji. Naravno, treba imati u vidu da to nije uvek slučaj i da se u pojedinim stenama ili rudnim ležištima zasebno javlja obogaćenje samo u jednom od ovih metala (npr. ležišta hromita), bez prisustva minerala ostalih metala. Osnovna geohemijska svojstva gvožđa navedena su u prethodnom poglavlju. Što se tiče hroma, njegov srednji sadržaj u zemljinoj kori je 83 ppm, a ovaj metal pokazuje izraziti litofilni karakter i značajno koncentrisanje u ultrabazičnim magmatskim stenama. Hromit je daleko najzastupljeniji mineral ovog metala. Srednji sadržaj titana u zemljinoj kori iznosi 0.45 % i ovaj metal je na 9. mestu po zastupljenosti. Takođe pokazuje izrazito litofilni karakter. U prirodi se u najvećoj meri javlja u vidu primesa u petrogenim mineralima (najviše u feromagnezijskim silikatima), ali takođe i u vidu sopstvenih minerala iz grupe oksida, uglavnom ilmenita i rutila (donekle i anatas).

Najznačajniji tipovi ležišta u kojima se javljaju ovi minerali su: 1) Cr ležišta (hromit) obrazovana u ranomagmatskom stadijumu (kristalizacioni diferencijati) u ultrabazičnim stenama, a ovaj tip ležišta i mineral hromit predstavljaju daleko najznačajniji izvor hroma; 2) Fe-Ti ležišta (magnetit, hematit, ilmenit, rutil) obrazovana takođe u

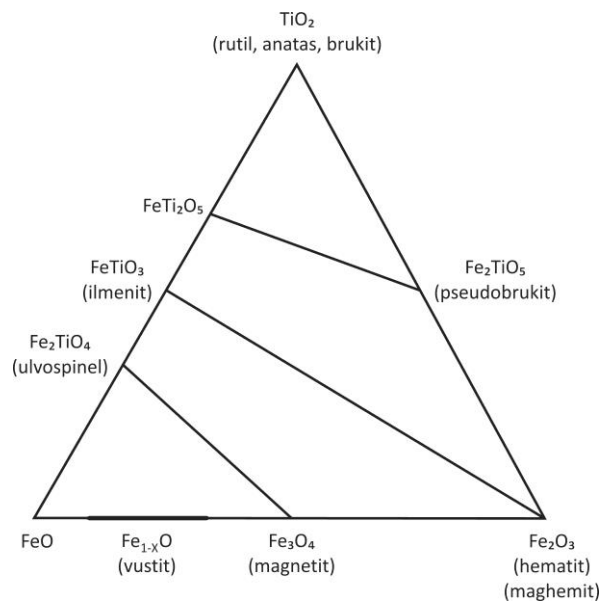
ranomagmatskom stadijumu, ali u bazičnim stenama (gabrovi, i sl.), pri čemu je ovaj tip ležišta ujedno i najznačajniji endogeni tip ležišta titana; 3) egzogena nanosna ležišta titana (ilmenit i rutil); 4) skarnovska Fe-(Cu) ležišta (magnetit, hematit, halkopirit, pirit i dr.); 5) regionalno metamorfne Fe rude (magnetit, hematit); 6) vulkanogeno-sedimenta Fe (i Fe-Mn) ležišta (hematit, getit, limonit); 7) egzogena Fe ležišta – lateritska, sedimentna, ležišta oksidacionih zona (hematit, getit, limonit).

Pored pomenutih ležišta, Fe i Ti oksidi su u različitoj meri prisutni kao akcesorni minerali u gotovo svim magmatskim stenama, kao i u metamorfnim i sedimentnim stenama. Kao prateći minerali i minerali hidrotermalnih alteracija, javljaju se i u sulfidnim ležištima.

Pojedini oksidi ova tri metala su, pored genetskih relacija takođe i strukturno povezani, a najznačajnije grupe minerala u okviru ovih oksida su grupa spinela opšte formule XY₂O₄ (teseralno) i grupa romboedarskih oksida opšte formule (X±Y)₂O₃. U romboedarske okside mogu se svrstati hematit, Fe₂O₃, ilmenit, FeTiO₃, pirofanit, MnTiO₃, gejkilit, MgTiO₃ i korund, Al₂O₃. Hematit i ilmenit su kao značajni i česti minerali u prirodi detaljno prikazani na narednim stranama, dok pirofanit i gejkilit, koji obrazuju izomorfne serije sa ilmenitom, predstavljaju relativno retke minerale i od manjeg su značaja za rudne asocijacije. Ako se izuzmu sasvim retka izdvajanja koja može da obrazuje, korund se gotovo uopšte ne javlja u rudnim asocijacijama.

Ostali bitni oksidi za ovo poglavlje su maghemit (str. 79) i oksidi titana – rutil, anatas, brukit i pseudobrukite. Prva tri oksida titana zapravo su polimorfne modifikacije TiO₂ sastava, od kojih je rutil najznačajniji, odnosno najrasprostranjeniji i detaljno je opisan na str. 74. Mada se i anatas relativno često javlja u prirodi, usled čega je ukratko

prikazan u nastavku teksta. *Brukit* (rombično) je nešto ređi polimorf u odnosu na prethodna dva, a prisutan je uglavnom u regionalno i kontaktno metamorfnim tvorevinama. Postoji i četvrta $\text{TiO}_2(\text{II})$ faza koja se veoma retko javlja samo u specifičnim uslovima veoma visokih pritisaka i niskih temperatura (subdukcione zone, meteoritski impakti). *Pseudobrukit*, Fe_2TiO_5 je nešto ređi mineral i manjeg je značaja.



Slika 30. Faze i izomorfne serije $\text{FeO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2$ sistema (Buddington & Lindsley, 1964).

Što se tiče minerala iz grupe hidroksida, jedino gvožđe od ova tri metala (Fe, Cr, Ti) obrazuje minerale iz ove grupe, pri čemu su najznačajniji getit i lepidokrokit istog sastava $\text{FeO}(\text{OH})$, a označeni su kao α (getit) i γ (lepidokrokit) rombične faze (str. 76 i 77). Postoje još dva polimorfa koji su nešto ređi u odnosu na prethodne, a to je monoklinična β faza tj. mineral *akaganeit*, $\beta\text{-FeO}(\text{OH},\text{Cl})$ i heksagonalna δ faza *feroksit* $\delta\text{-FeO}(\text{OH})$. Svakako ovde treba pomenuti i limonit (str. 78), hidratizani oksid-hidroksid trovalentnog gvožđa približnog sastava $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$, a koji je zapravo mineraloid (amorfan). Postoje i drugi hidratizani Fe^{3+} -oksidi, sa različitim sadržajima vode, koji se mogu naći u literaturi (naročito starijoj), kao što su *hidrogetit*, *hidrohematit*, *ksantosiderit*,

stilpnosiderit i drugi. Međutim, kako je ustanovljeno da su oni uglavnom amorfni, danas se, bez pokašaja njihove detaljnije determinacije, najčešće svrstavaju takođe u limonit. Mada se u nekim slučajevima koriste kao sinonimi za getit i lepidokrokit.

Relacije prethodno opisanih Fe i Ti oksida mogu se posmatrati i kroz fazne odnose na trokomponentnom $\text{FeO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2$ dijagramu (sl. 30). U svetlu faznih odnosa ovog sistema, mogu se posmatrati mnoge karakteristične osobine asocijacija Fe i Ti oksida, kao što su pojava izomornih serija, tekstura izdvajanja i zamenjivanja, itd.

Dve najznačajnije visokotemperaturne izomorfne serije koje se javljaju u magmatskim i metamorfnim stenama i Fe-Ti ležištima kristalizacionih diferencijata, su teseralna serija magnetit-ulvospinel i romboedarska serija hematit-ilmenit. Pritom, u toku hlađenja ovi minerali najčešće obrazuju teksture izdvajanja. Što se tiče teseralne serije, u prirodi je mnogo češće obrazovano izdvajanje ilmenita od izdvajanja ulvospinela u magnetite. Ovakva pojava se objašnjava povećanjem oksidacionih uslova u toku kristalizacije koji favorizuju obrazovanje ilmenita na mesto ulvospinela. Ove teksture izdvajanja detaljnije su opisane u potpoglavljima 7.2 i 7.4, a neke od njih su prikazane na slici 12 (str. 36).

Subsolidusnim promenama nastaju i druge sekundarne teksture transformacija, tj. izdvajanja i zamenjivanja u kojima učestvuju magnetit, hematit, ilmenit, rutil i u manjoj meri anatas, usled čega se ovi minerali često javljaju u asocijaciji.

Treba na kraju istaći, da se fazni odnosi ovog sistema primenjuju u geotermobarometriji, a takođe predstavljaju i osetljivi indikator promena oksido-redukcionih uslova, usled čega su od naročitog značaja za petrogenetska tumačenja.

7.1 HROMIT, FeCr_2O_4 (teseralno) Hromspinel – $(\text{Fe,Mg})(\text{Cr,Al,Fe})_2\text{O}_4$

OPTIČKA SVOJSTVA I RELJEF (Slika 31)	
Boja	Siva, ponekad sa mrkom primesom.
R%	Refleksija varira u zavisnosti od sastava (R 12-16%), pri čemu se snižava sa povećanjem udela spinelske komponente (<i>min.</i> spinel, MgAl_2O_4).
A/I	Izotropan.
U.R.	Sa povećanjem udela spinelske komponente u hromitu, žutomrki do mrkocrveni unutrašnji refleksi postaju intenzivniji, dok kod čistijih varijeteta, u vazduhu odsustvuju, a vidljivi su samo u ulju kao slabi refleksi.
Tv.	Visok reljef (tv. 5.5, povećava se sa udelom spinelske komponente).

Makroskopski: crne do mrkocrne boje, mrkog ogreba, metaličan, neprovidan, u zavisnosti od sastava prozračan u tankim presecima.

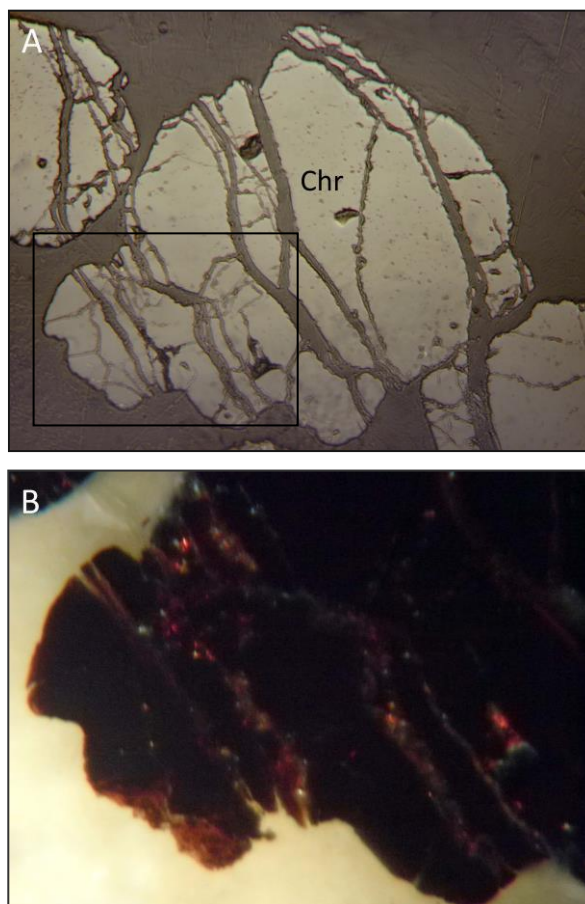
Hemizam. Kao što je već prikazano, hromit često sadrži Mg i Al primese, a mogu biti prisutni i Mn, Zn i Ti koji formiraju izomorfna zamenjivanja u okviru spinelske grupe.

Forma. Javlja se u izometričnim uglavnom anhedralnim, ponekad euhedralnim zrnima, često zaobljenim i ispučalim (sl. 31). Ova zrna obično obrazuju karakteristične teksture u uzorku (npr. leopard tekstura, itd.).

Retko pokazuje prorastanja sa drugim rudnim mineralima i uglavnom obrazuje gotovo monomineralne rudne pojave. Unutar zrna može da sadrži inkluzije minerala jalovine i sulfidne kapi. Usled naknadnih hidrotermalnih ili površinskih alteracija, po obodu zrna biva zamenjen Fe-bogatijim izomornim članom koji pokazuje višu refleksiju, kao i samim magnetitom.

Retko sadrži izdvajanja hematita, ilmenita, magnetita, a verovatno i *eskolaita*, Cr_2O_3 koji je po optičkim osobinama sličan hematitu.

Teksture zamenjivanja hromita su retke usled njegove rezistentnosti. Jedino magnetit obrazuje ovakve teksture, mada su to uglavnom inkrustacije magnetita po hromitu.



Slika 31. Zaobljeno, ispučalo zrno hromita (Chr), pokazuje sivu boju, nisku refleksiju i pod ukrštenim nikolima u ulju slabe mrkocrvene unutrašnje reflekse po obodu i pukotinama (A – vazduh, //N, B – ulje; xN; širina mikrofografije A ~1 mm, dok B predstavlja uokvireni detalj sa slike A). Preparat 3638, studentska zbirka – F2.

Postanak i asocijacija. Hromit je tipomorfan mineral i nastaje samo ranomagmatski (kristalizacioni diferencijati) usled čega se javlja u ultrabazičnim stenama, dunitima, peridotitima i piroksenitima u kojima i obrazuje ležišta. U vidu pojedinačnih zrna može biti prisutan i u gabrovima i bazaltima. S obzirom da je rezistentan na hemijsko rastvaranje, koncentriše se u nanosima i korama raspadanja ultrabazičnih stena.

Dijagnostičke osobine. Relativno se lako prepoznaje na osnovu optičkih osobina, ali i karakteristične asocijacije. Varijeteti koji ne pokazuju unutrašnje reflekse mogu biti slični magnetitu (razlike: niža refleksija, odsustvo mrkoružičaste nijanse u boji i slabi unutrašnji refleksi u ulju kod hromita).

7.2 MAGNETIT, Fe₃O₄ (teseralno)

OPTIČKA SVOJSTVA I RELJEF (Slika 32)	
Boja	Siv sa mrkom nijansom. Sa porastom sadržaja titana zadobija mrkoružičastu nijansu.
R%	Niska do srednja refleksija (R 21%).
A/I	Izotropan. Ponekad može da pokaže anomalnu anizotropiju.
U.R.	Nema unutrašnje refleksije.
Tv.	Visok reljef (tv. 5.5-6.5).

Makroskopski: crne boje, crnog ogreba, metaličan, neprovidan, magnetičan, česte oktaedraske forme.

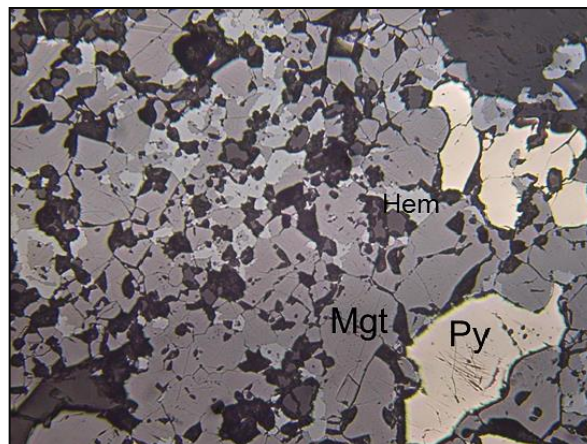
Hemizam. Slično kao kod hromita, može da gradi brojna izomorfna zamenjivanja u okviru spinelske grupe minerala. Pored najčešćih Mg, Mn, Al i Ti primesa iz ove grupe, obično sadrži i V, ponekad i u značajnijim koncentracijama. Ređe sadrži i Si u vidu primese. Povišeni sadržaji titana obrazuju varijetet titanomagnetit. Pojedini magnetiti, naročito hidrotermalnog načina postanka, mogu biti gotovo bez primesa.

Forma. Pretežno se javlja u zrnastim i masivnim agregatima, ali relativno često obrazuje i euhedralna zrna, uglavnom oktaedarskog habitusa (111), ređe rombdodekaedarskog (110) kada ukazuje na kontaktno-metasomatski način postanka. Sasvim retko pokazuje i druge forme kristala.

Često asociira sa hematitom i pokazuje teksture zamenjivanja sa ovim mineralom u oba pravca, usled čega može da obrazuje i neke specifične forme (prikazane na sledećoj strani). Cepljivost izostaje, ali zato magnetit pokazuje dobro izraženo razdvajanje po (111), koje u kombinaciji sa često prisutnim bližnjem po istom pravcu, može da simulira savršenu cepljivost.

Usled brojnih izomorfni zamenjivanja, magnetit može da pokaže zonarnost i kontaktno-metasomatski magnetiti su uglavnom zonarni. Magnetit, posebno Ti-bogat varij. titanomagnetit, veoma često pokazuje teksture izdvajanja (videti str. 69).

Ovaj mineral je generalno rezistentan. Mada, vremenom ipak podleže alteraciji i



Slika 32. Magnetit (Mgt) u asocijaciji sa hematitom (Hem) i piritom (Py) (vazduh, //N, širina mikrografije ~1 mm). Preparat: 2121, studentska zbirka – F2.

najčešće prelazi u maghemit ili limonit. U procesu hidrotermalnih alteracija stena i pod dejstvom rudonosnih H₂S-obogaćenih rastvora, magnetit biva zamenjen piritom (sl. 13B, str. 37).

Postanak i asocijacija. Magnetit je veoma zastupljen mineral u prirodi i pokazuje raznovrsne uslove obrazovanja (magmatski, pegmatitski, regionalno i kontaktno metamorfno, pneumatolitski, u manjoj meri hidrotermalno), usled čega se javlja u asocijaciji sa mnogim mineralima. Takođe je prisutan u meteoritima, vulkanskim stenama, nanosima, oolitnim rudama gvožđa, zatim, u šljakama i drugim produktima topljenja pojedinih ruda. Značajnije rude gvožđa u kojima je magnetit veoma često zastupljen navedene su na početku ovog poglavlja (str. 64).

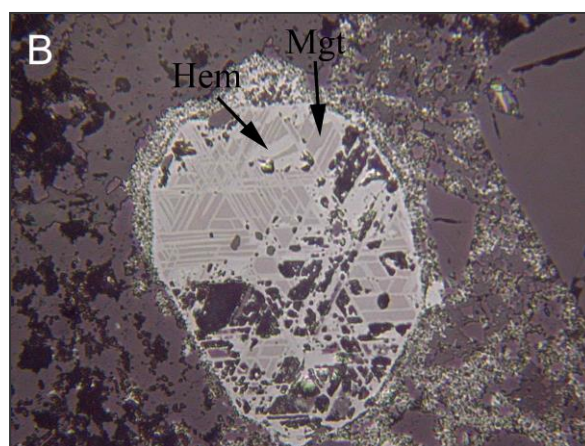
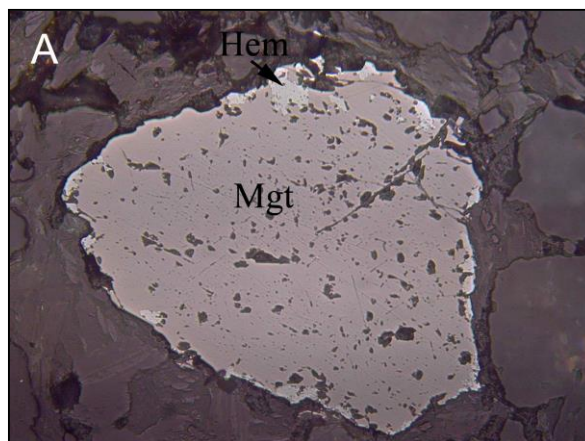
Dijagnostičke osobine. Prema boji, refleksiji i izotropiji može biti sličan varijetetima sfalerita i hromita koji ne pokazuju unutrašnje refleksije. Prisustvo hematita u asocijaciji, kao i magnetičnost, pomažu u prepoznavanju magnetita. U pojedinim slučajevima, može se pomešati i sa ilmenitom na početku pregleda preparata, ali ipak, ovaj mineral je anizotropan, na osnovu čega se pouzdano razlikuju.

MAGNETIT-HEMATIT ZAMENJIVANJA

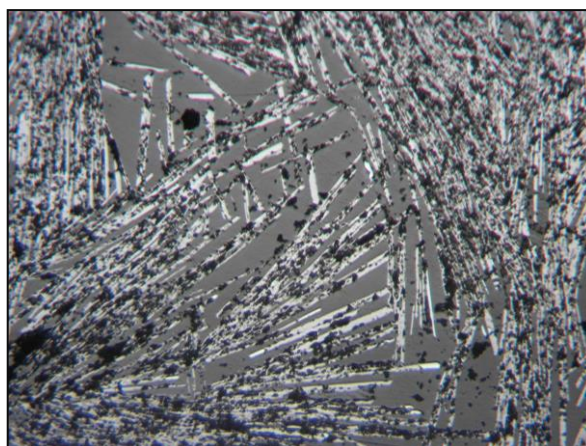
Promena u oksido-redukcionim uslovima neke sredine obrazovanja minerala, uzrokuje i prelaze između Fe^{2+} i Fe^{3+} jona, odnosno magnetit/hematit transformacije (zamenjivanja). Oksidacijom magnetita nastaje hematit, tj. varijetet martit, i obrnuto, u redukcionim uslovima, zamenjivanjem hematita nastaje magnetit – varij. mušketovit. Na taj način, ove teksture zamenjivanja mogu imati genetsku implikaciju, jer ukazuju na tok promena u oksido-redukcionim uslovima magme, hidrotermalnog rastvora ili neke druge sredine obrazovanja.

Martit, ili proces martitizacije u početnim stadijumima zahvata uglavnom samo obodne delove magnetitskih zrna (sl. 33A). Prilikom intenzivnije transformacije, magnetit biva zamenjen hematitom po naglašenom pravcu oktaedra (111), usled čega ovaj tip zamenjivanja može da podseća i na teksture izdvajanja (sl. 33B). Treba imati u vidu da na ovakav način može biti obrazovan i lepidokrokit, koji u tom slučaju, uglavnom biva pogrešno determinisan kao hematit.

Mušketovit (naziv je preuzet iz sovjetske literature) predstavlja zamenjivanje, tačnije pseudomorfozu magnetita po hematitu, s obzirom da tom prilikom magnetit nasleđuje karakterističnu listastu do tabličastu formu hematita (sl. 34) koja je, podrazumeva se, neočekivana za teseralni (izometrični) mineral. Ova karakteristična pseudomorfoza često se javlja u kontaktnom metamorfizmu kako intruzivnih tako i efuzivnih stena, mada može biti obrazovana i u drugim uslovima (npr. porfirskim ležištima bakra).



Slika 33. Obrazovanje hematita (Hem, varij. martit) zamenjivanjem magnetita (Mgt) (vazduh, //N, širina mikrografija ~ 0.8 mm): **A** – početak martitizacije kada se hematit javlja samo po obodu magnetita; **B** – intenzivno i karakteristično zamenjivanje po pravcima (111) magnetita.



Slika 34. Varijetet mušketovit koji predstavlja pseudomorfozu magnetita po hematitu (vazduh, //N, širina mikrografije ~ 0.8 mm). Preparat 1106, studentska zbirka – F12.

MAGNETIT – TEKSTURE IZDVAJANJA

Magnetit, naročito varij. *titanomagnetit* magmatskog načina postanka, pokazuje veoma raznovrsne teksture izdvajanja.

Ovaj varijetet magnetita najčešće sadrži izdvajanja ilmenita, ponekad i u dve generacije. Ilmenit obrazuje tipično lamelarno izdvajanje po (111) (sl. 12A, str. 36), pri čemu lamele mogu biti veoma različitih debljina, od gotovo submikroskopskih do 1 mm debljine. Ilmenit takođe obrazuje mrežasto izdvajanje po (100), kapljičasto i druge tipove izdvajanja u magnetitu (titanomagnetitu). U ređim slučajevima, zajedno sa ilmenitom i pirofanit, $MnTiO_3$ može biti prisutan u vidu izdvajanja u magnetitu. Pritom je ovaj mineral veoma sličan ilmenitu, a razlikuje se od njega po češćim unutrašnjim refleksima bordo boje.

Titanomagnetit, pored ilmenita, može da sadrži i izdvajanja ulvospinela po (100) kada se obrazuje tekstura nalik tkanini. Međutim, tanke lamele (mrežasta građa) ulvospinela

pokazuju veliku sličnost sa ilmenitom i samim magnetitom, usled čega je utvrđivanje prisustva ulvospinela znatno otežano. Uz to, ovaj mineral je ponekad i naknadno zamenjen opet sličnim ilmenitom i/ili magnetitom.

Alteracijom ovakvih magnetita, kako u površinskim uslovima tako i pod dejstvom hidrotermalnih rastvora (što je češći slučaj), magnetitska komponenta može biti selektivno rastvorena, a skeletna forma ilmenitskih lamela ostaje sačuvana. Ovaj "skeletni" ilmenit daljom alteracijom prelazi u rutil ili anatas (\pm hematit), a kasnije mogu da budu obrazovani i sfen i leukoksen.

Titanomagnetiti koji ne sadrže izdvajanja Ti-faza, tj. u kojima je titan zadržan u strukturi minerala, javljaju se u vulkanskim stenama u kojima zbog naglog hlađenja nije došlo do naknadnog obrazovanja tekstura izdvajanja. Ovakvi titanomagnetiti pokazuju mrkorusičastu nijansu u boji, usled čega pri paralelnim nikolima mogu biti slični ilmenitu.

7.3 HEMATIT, Fe_2O_3 (romboedarski)

OPTIČKA SVOJSTVA I RELJEF (sl. 32, 35)	
Boja	Svetlosiv sa plavičastom primesom koja se zapaža tek u prisustvu drugih rudnih minerala; u ulju plavosiv.
R%	Srednja refleksija (R 25-30%).
A/I	Jasna anizotropija (plavkastosiva, bledo mrkosiva boja).
U.R.	Tamnocrveni do bordo unutrašnji refleksi u vazduhu se teže uočavaju na dobro poliranim površinama, dok su u ulju slabi do jasni.
Tv.	Visok reljef (tv. 5.5-6).

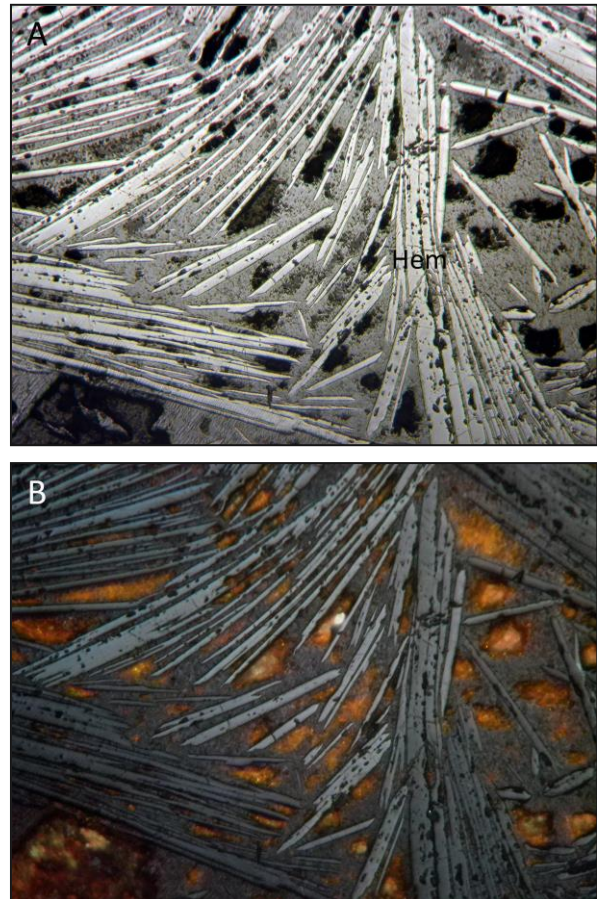
Makroskopski: crvene do crne boje, ređe olovnosiva, crveni ograb, neprovidan, metaličan.

Hemizam. Često je hemijski čist, mada ponekad sadrži Ti, Mn i Mg primese. Na visokim temperaturama u magmatskom stadijumu obrazuje neprekidnu seriju čvrstih rastvora sa ilmenitom, FeTiO_3 .

Forma. Hematit ima izraženu tendenciju prema idiomorfnom razviću i može da se javi u različitim formama kristala u zavisnosti od uslova obrazovanja. Karakterističnu i najčešću formu predstavlja tabličasti do listasti po (0001) varijetet *spekularit* (sl. 35), kod kojeg liske mogu biti povijene dejstvom tektonskih deformacija. Ovakve listaste forme su česte kod hematita hidrotermalnog načina postanka. Ovaj mineral se takođe javlja u masivnim, listastim, zemljastim i drugim agregatima.

Često pokazuje lamelarno bližnjenje po pravcima romboedra. Samo u nekim slučajevima su lamele obrazovane tokom kristalizacije minerala i ovakve lamele su prisutne u manjem broju. S druge strane, lamelarno bližnjenje je verovatno češće uzrokovano naknadnim mehaničkim deformacijama, a ovako obrazovane lamele se uvek javljaju u grupama i najčešće po nekoliko pravaca romboedra.

Hematit može da sadrži izdvajanja ilmenita (pogledati ilmenit na str. 72) i rutila. Transformacije hematita u magnetit i obrnuto, već su detaljno prikazane na str. 68.



Slika 35. Hematit (Hem) pokazuje kakarakterističnu listastu formu (varij. spekularit) i jasnu anizotropiju u plavičastim do mrkosivim nijansama (vazduh, A – //N, B – xN, širina mikrofografija ~ 1 mm). Preparat 11711, studentska zbirka – F2.

Postanak i asocijacija. Hematit je veoma zastupljen mineral u prirodi i može postati svim procesima obrazovanja minerala. Tako, ovaj mineral nastaje magmatski, pegmatitski, hidrotermalno, regionalno i kontaktno metamorfno i sedimentno. Usled raznovrsnog načina postanka, može se javiti u asocijaciji sa velikim brojem minerala, a najčešće je u asocijaciji sa magnetitom i drugim Fe mineralima.

Dijagnostičke osobine. Na početku ispitivanja se ponekad teže prepoznaje zbog ne tako upečatljive boje i refleksije. Međutim, asocijacija Fe minerala, a naročito prisustvo magnetita, od značajne su pomoći u njegovom prepoznavanju.

7.4 ILMENIT, FeTiO_3 (romboedarski)

OPTIČKA SVOJSTVA I RELJEF (Slika 36, 37)	
Boja	Siva sa ružičastomrkom nijansom; slab do jasan pleohroizam, u ulju jak.
R%	Niska do srednja (R 17-20%).
A/I	Jasna do jaka anizotropija (zelenkastosiva, braonkastosiva), u ulju veoma jaka.
U.R.	Uglavnom ne pokazuje unutrašnje reflekske, retki su tamnobraon boje.
Tv.	Visok reljef (tv. 5-6).

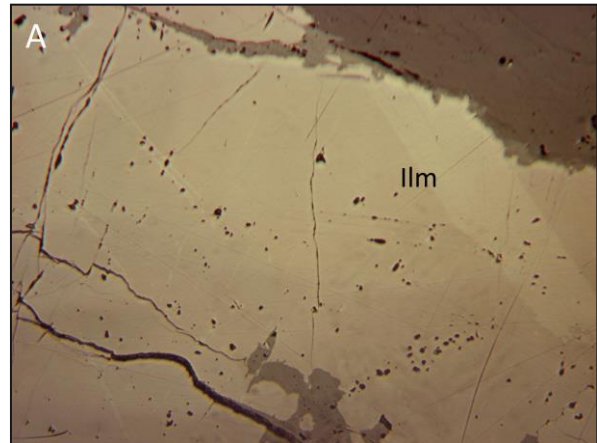
Makroskopski: gvozdencrna boja, crvenobraon ograb; neprovidan, metaličan do polumetaličan sjaj.

Hemizam. Struktura ilmenita je izvedena iz strukture grupe korunda kojoj pripada i hematit. Kod hematita postoje samo Fe^{3+} katjoni smešteni u oktaedrima koji obrazuju identične "slojeve". U ilmenitu, Fe^{2+} i Ti^{4+} katjoni se takođe nalaze u oktaedarskoj kordinaciji, ali obrazuju naizmenične "slojeve" oktaedara upravne na c-osu. Iz tog razloga je ilmenit izostrukturan sa hematitom. Obično sadrži značajnije količine Fe_2O_3 , pri čemu je na visokim temperaturama moguća kompletna, a na nižim temperaturama ograničena rastvorljivost hematita u ilmenitu.

Ilmenit takođe može da sadrži Mg i Mn primese i gradi čvrste rastvore sa krajnjim članovima serija, gejkilitom MnTiO_3 i pirofanitom, MnTiO_3 . Na visokim temperaturama značajni čvrsti rastvori postoje sa magnetitom, Fe_3O_4 , a moguće i sa korundom, Al_2O_3 .

Važna osobina ilmenita za njegovu tehničku separaciju je ta, da je u čistoj formi ovaj mineral nemagnetičan, dok su čvrsti rastvori koji sadrže preko 25% Fe_2O_3 , bez izdvajanja hematita, magnetični.

Forma. Ilmenit uglavnom ne pokazuje karakteristične forme zrna i agregata i iz tog razloga se najčešće javlja u nepravilnim zrnima i nepravilnim do masivnim agregatima. Ipak, ponekad obrazuje debelopločaste, ređe romboedarske kristale.



Slika 36. Ilmenit (Ilm) pokazuje lamelarno bližnjenje u više pravaca, jasan pleohroizam i jaku anizotropiju, pri čemu su ove dve optičke osobine naročito dobro uočljive na granicama lamela (vazduh, širina mikrografija ~1 mm, A – //N, B – xN). Preparat 2192 (Ti-Fe ležište Rastište na Tari), studentska zbirka – F2.

Prilično često pokazuje lamelarno bližnjenje po romboedru u jednom ili više pravaca (sl. 36), pri čemu se lamele mogu razlikovati po debljini.

Zonarnost se retko zapaža, mada u pojedinim slučajevima može biti uzrokovana primesama gvožđa u vidu hematitske ili magnetitske komponente.

Mirmekitske teksture (prorastanja) u magmatskom stadijumu su česte na granicama zrna ovog minerala prema magnetitu, obuhvatajući spinel, magnetit i ilmenit. Mirmekitski reakcioni rub se može javiti i između ilmenita i silikata (na primer u gabrovima).

Izdvajanja u ilmenitu su veoma česta. Minerali koji se javljaju u vidu izdvajanja u ilmenitu su hematit, rutil, magnetit i korund, a u nastavku teksta su opisani ilmeniti sa ova 4 tipa izdvajanja.

I Hemoilmenit. Ilmenit često sadrži izdvajanja hematita //(0001) u vidu debljih ili tanjih sočiva (sl. 12B, str. 36). Količina izdvojenog hematita može da bude znatna, a čak i da preovladava u ilmenitu, pri čemu je u tom slučaju zapravo došlo do izdvajanja ilmenita u hematitu. Moguća je i pojava druge generacije ovakvih izdvajanja u ilmenohematitima. Na visokim temperaturama (iznad 600 °C) ilmenit i hematit obrazuju seriju čvrstih rastvora u svim proporcijama. Naglim hlađenjem čvrsti rastvor ostaje homogen. Laganim opadanjem temperature, iz homogenog čvrstog rastvora obrazuju se izdvajanja hematita u ilmenitu ukoliko je prvobitni čvrsti rastvor bio bogatiji ilmenitskom komponentom (hemoilmenit), ili izdvajanja ilmenita u hematitu, ukoliko je čvrsti rastvor bio bogatiji hematitskom komponentom (ilmenohematit).

II Magnetoilmenit. Ovaj tip ilmenita pored Fe_2O_3 takođe sadrži i višak FeO. Ilmenit u brojnim nalazištima sadrži orjentisana izdvajanja magnetita //(0001) u ravnomerno tankim pločastim agregatima. Količina ovako izdvojenog magnetita je relativno mala i uglavnom je ispod 10%, a retko prelazi 15%.

III izdvajanja rutila. Ilmeniti koji sadrže u velikoj meri izdvajanja hematita, mogu dodatno da sadrže i izdvajanja igličastog (ustvari, najverovatnije tabličastog) rutila u više pravaca.

IV izdvajanja korunda. Pojedini ilmeniti koji potiču iz rudnih diferencijata veoma bogatih Al_2O_3 mogu da sadrže fina sočivasta ili pločasta zrna korunda koja takođe najverovatnije predstavljaju produkte izdvajanja.

Transformacije. Ilmenit često biva podvrgnut raznim procesima autometamorfizma i regionalnog metamorfizma usled čega može doći do brojnih transformacija ovog minerala na račun kojeg najčešće nastaju magnetit, hematit i rutil, mestimično i anatas.

U mnogim epitermalnim rudnim ležištima, naročito u onim iz subvulkanskog nivoa, ilmenit u matičnoj steni biva zamenjen piritom, pri čemu se sadržaj TiO_2 javlja u vidu fino-zrnog rutila i drugih Ti minerala. U mnogim stenama ilmenit je delimično ili potpuno transformisan u leukoksen.

Leukoksen predstavlja fino-zrni titanonosni agregat u najvećoj meri izgrađen od anatas, a u manjoj meri i rutila, brukita, kao i sfena u stenama bogatim kalcijumom. Leukoksen je zapravo alteracioni produkt minerala titana, prvenstveno ilmenita, ali u nekim slučajevima i sfena.

Ilmenit je kao i većina oksida otporan na egzogene procese, a čak je i u okeanskim peskovima često potpuno svež. Međutim, ovaj mineral ipak nije sasvim stabilan u uslovima sedimentnih i nekih metamorfnih stena u kojima se javlja kao detritus. Tako, i pored visoke rezistentnosti, u atmosferskim uslovima se vremenom oko zrna ilmenita obrazuje kora koja predstavlja alteracioni produkt ovog minerala. Ovaj produkt u procesu metamorfizma može ponovo da pređe, tj. da rekristališe u ilmenit.

Postanak i asocijacija. Ilmenit je jedan od glavnih nosilaca titana u prirodi i ruda je titana. Nastaje uglavnom u magmatskom stadijumu i javlja se u gotovo svim magmatskim stenama kao i u pegmatitima, ali u nešto većim količinama prisutan je samo u bazičnim stenama. Retko nastaje hidrotermalno, mada u "alpskim žicama" može biti značajnije zastupljen. Visokotemperaturni je mineral i, izuzev u "alpskim žicama", nastaje na temperaturama iznad 500 °C. Iz tog razloga je važan "geološki termometar". Često je prisutan i u meteoritima.

Iako je relativno čest mineral i zastupljen u različitim tipovima stena, veće koncentracije ovog minerala i obrazovanje endogenih ležišta ilmenita relativno su retka i uglavnom se svode na Fe-Ti kristalizacije diferencijate bazičnih magmi.

U egzogenim procesima, kao relativno rezistentan mineral, koncentriše se u nanosima i pritom može da obrazuje i nanosna ležišta titana. Takođe se, kao detritus, javlja i u sedimentnim i regionalno metamorfnim stenama.

Dijagnostičke osobine. Ilmenit može da bude sličan magnetitu, naročito kada je kod magnetita prisutna braonroza nijansa u boji.

Od magnetita se razlikuje po anizotropiji, ali njihovo razlikovanje može biti znatno otežano u slučaju preseka ilmenita paralelno bazi (upravno na optičku osu) ili subparalelno bazi, kada je anizotropija slaba ili u potpunosti izostaje. Do pogrešne determinacije posebno dolazi kada se lamele bližnjenja po pravcima romboedra interpretiraju kao izdvajanja ilmenita u magnetitu.

U izvesnim slučajevima rutil može biti sličan ilmenitu, naročito kada se javlja u vidu finih individualnih zrna u jalovini. Tada je važno uočiti unutrašnje refleksije rutila koji su gotovo uvek prisutni, dok su oni kod ilmenita sasvim retki.

7.5 RUTIL, TiO₂ (tetragonalno)

OPTIČKA SVOJSTVA I RELJEF (Slika 37)	
Boja	Siva sa slabom plavičastom primesom, slab do jasan pleohroizam.
R%	Srednja refleksija (R 20-24%), slaba birefleksija.
A/I	Jasna anizotropija, ali često maskirana unutrašnjim refleksima.
U.R.	Jasni do jaki unutrašnji refleksi, uglavnom u žutim, crvenim do mrkim bojama, ponekad beli do bezbojni.
Tv.	Visok reljef (tv. 6-6.5).

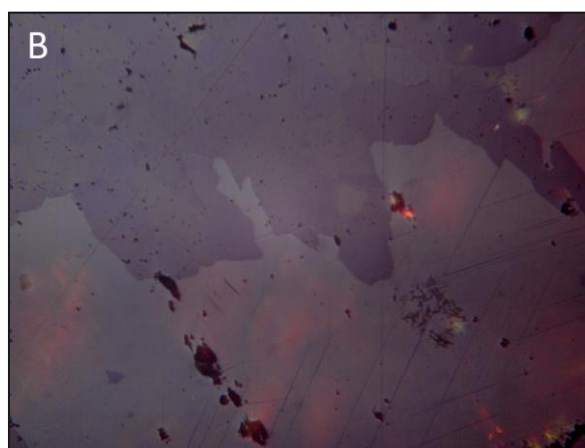
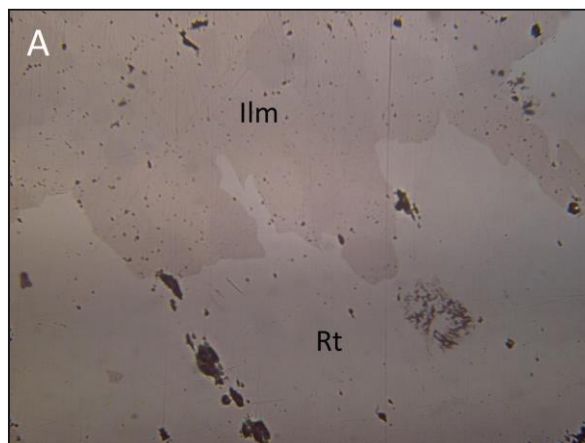
Makroskopski: svetložute, žutomrke do crne boje, žutomrkog ogreba, prozračan, dijamantski do polumetaličan sjaj.

Hemizam. Rutil veoma često sadrži primese gvožđa koje mogu dostići i značajnije koncentracije, kada je obrazovan Fe-varijetet rutila *nigrin*. Međutim, pod ovim varijetetom se podrazumeva i prisustvo gvožđa u vidu finog prorastanja rutila i ilmenita.

Pored gvožđa, ovaj mineral često sadrži i niobijum čiji sadržaj u nekim metamornim stenama može biti i do 15 % Nb, kao i tantal (min. *struverit*, (Ti,Ta,Fe)O₂).

Usled brojnih izomornih zamenjivanja titana sa drugim metalima, u rutilu se mogu naći i mnoge druge primese. Zapravo, ovaj mineral sadrži Ti⁴⁺ katjon koji može biti zamenjen drugim četvorovalentnim katjonima (Sn⁴⁺, Zr⁴⁺, U⁴⁺ i dr.), ali takođe i trovalentnim (Al³⁺, Cr³⁺, V³⁺, Fe³⁺ i dr.), dvovalentnim (Fe²⁺, Mn²⁺ i dr.), petovalentnim (Nb⁵⁺, Ta⁵⁺, Sb⁵⁺), čak i šestovalentnim (W⁶⁺ i U⁶⁺). Ovo zamenjivanje katjonima različitih valentnih stanja ostvaruje se kroz mehanizme spregnutih supstitucija (npr. Fe³⁺ + Nb⁵⁺ = 2 Ti⁴⁺).

Prisustvo raznih primesa u rutilu, mineralu koji je zastupljen u mnogim stenama, otvara brojne mogućnosti geoloških i geohemijskih tumačenja, kao što su istraživanja vezana za poreklo materijala sedimentacionih basena odnosno sedimentnih stena, termometrija bazirana na Zr sadržaju u rutilu, U-Pb geohronologija, itd.



Slika 37. Rutil (Rt) pokazuje jasne unutrašnje refleksije u crvenkastim bojama i javlja se u asocijaciji sa ilmenitom (Ilm) kod kojeg se jasno zapažaju pleohroizam i anizotropija (vazduh, A – //N, B – xN, širina mikrografija ~1 mm). Preparat 2201, studentska zbirka – F2.

Forma. Rutil pokazuje tendenciju prema idiomornom razviću i često se javlja u prizmatičnim suphedralnim do euhedralnim kristalima. Naravno, pored kristala, javlja se i u zrnastim, nepravilnim ili masivnim agregatima.

Karakteristični način pojavljivanja pokazuje u hidrotermalno alterisanim stenama kada obrazuje gnezdašca fino-zrnih agregata koji ustvari predstavljaju reliktnu formu alterisanih ilmenita, titanomagnetita i drugih titanonosnih minerala. U pojedinim slučajevima, agregati fino-zrnog do lamelnog rutila obrazuju mrežastu građu koja otkriva reliktnu formu ilmenita ili drugog alterisanog titanonosnog minerala.

Kada je u pitanju alteracija ilmenita, zajedno sa rutilom se kao produkt alteracije često javlja i hematit. Ukoliko hidrotermalna alteracija podrazumeva i piritizaciju, što je čest slučaj, pirit u ovakvim sredinama zamenjuje Fe-(Ti) okside (prvenstveno titanonosni magnetit), usled čega reliktna zrna rutila na kraju bivaju cementovana piritom. Međutim, treba imati u vidu da u prethodno opisanim alteracijama ponekad anatas može biti obrazovan umesto rutila, pri čemu razlike u uslovima obrazovanja ova dva minerala nisu još uvek u potpunosti jasne. Rutil je kao produkt alteracije zastupljen i u leukoksenu, zajedno sa uobičajnijim sfenom i anatasom.

Lepo razvijeno lamelarno bližnjenje je veoma često prisutno u rutilu, a može se javiti i u više pravaca. Jednim delom, ovo bližnjenje može biti obrazovano mehaničkim deformacijama (stresom).

Poseban i dobro poznat način pojavljivanja rutila jeste u formi igličastih kristala i agregata u kvarcu, koji mogu biti od mikrometarskih dimenzija do makroskopski uočljivih. Ove pojave su uglavnom vezane za granite i visokotemperaturna ležišta.

Postanak i asocijacija. Rutil se ređe javlja u većim količinama, ali je kao akcesoran mineral zastupljen u mnogim magmatskim i regionalno metamorfnim stenama. Takođe se obrazuje i u pegmatitskom i pneumatolitsko-hidrotermalnom stadijumu,

kao i u hidrotermalno alterisanim stenama. Ređe postaje i kontaktno metamorfno i hidrotermalno.

U nešto većim količinama rutil može biti zastupljen u bazičnim pegmatitima vazanim za stene tipa gabra, kada se javlja u asocijaciji sa magnetitom, ilmenitom i hematitom, a koji zajedno obrazuju Fe-Ti ležišta.

S obzirom da je veoma rezistentan mineral, koncentriše se u nanosima, pri čemu može da obrazuje i nanosna ležišta titana. Kao dedritična komponenta, veoma je često prisutan i u klastičnim sedimentima.

Usled ovako raznovrsnih načina postanka, rutil se može naći u asocijaciji sa gotovo svim mineralima.

Dijagnostičke osobine. Rutil se prvenstveno prepoznaje i razlikuje od drugih, njemu sličnih minerala sa kojima se javlja u asocijaciji, po unutrašnjim refleksima. Tako, u asocijaciji Fe-Ti oksida, ponekad se teže razlikuje od ilmenita, donekle i hematita. U ovakvim slučajevima su jasni do jaki unutrašnji refleksi rutila presudni za njihovo razlikovanje. Takođe i lamelarno bližnjenje, pleohroizam i anizotropija u ponekad mogu biti veoma značajne dijagnostičke osobine ovog minerala. Na primer, kada se javlja u finim zrnima, donekle je sličan sfaleritu koji takođe može da pokaže unutrašnje reflekse. Međutim, pored nešto niže refleksije koju pokazuje, sfalerit je i izotropan mineral.

10. Au, Ag, Pt minerali

Tabela 9. Značajniji minerali (rude) zlata, srebra i platine.

Au-Ag minerali		Ag sulfosoli 10.5
Zlato, Au	10.1	Pirargirit, Ag_3SbS_3
Silvanit, $(\text{Au,Ag})\text{Te}_2$	10.2	Prustit, Ag_3AsS_3
Kalaverit, AuTe_2		Polibazit, $(\text{Ag,Cu})_{16}\text{Sb}_2\text{S}_{11}$
Krenerit, $(\text{Au,Ag})\text{Te}_2$		Pirseit, $(\text{Ag,Cu})_{16}\text{As}_2\text{S}_{11}$
Hesit, Ag_2Te		Stefanit, Ag_5SbS_4
Pecit, Ag_3AuTe_2		Miargirit, AgSbS_2
Kostovit, CuAuTe_4		Matildit, AgBiS_2
*Nađagit, $(\text{Te,Au})\text{Pb}(\text{Pb,Sb})\text{S}_2$		**Diskrasit, Ag_3Sb
Srebro, Ag	10.3	***Štromajerit, AgCuS
Akantit (argentit), Ag_2S	10.4	Pt minerali
		Platina, Pt 10.6

*spada u sulfide, ali se javlja sa ostalim teluridima.

** ne spada u sulfosoli već u antimonide

*** ne spada u sulfosoli već u sulfide.

Zlato, srebro i platina spadaju u plemenite metale čija je prosečna zastupljenost u zemljinoj kori prilično niska. Vrednosti prosečnih sadržaja iz različitih izvora, odnosno literature za Au i Pt kreću se od 1 do 4 ppb (po Vinogradovu 4 ppb), dok su za Ag nešto više, tj. u opsegu od 70 do 80 ppb (po Vinogradovu 70 ppb). Međutim, zbog velike ekonomske vrednosti ovih metala, procesi obogaćenja u ovim metalima i obrazovanje njihovih ležišta veoma su značajni, a zlato je često predmet glavnih interesovanja u istraživanju rudnih ležišta.

Zlato i srebro relativno često asociraju u prirodi i iz tog razloga se i minerali ovih plemenitih metala mogu naći u asocijaciji. S obzirom da pokazuju siderofilni karakter, često se međusobno legiraju, a u prirodi je poznata legura zlata sa srebrom, tj. varij. *elektrum*. Zatim, ova dva metala sa telurom grade zajednička jedinjenja, tj. Au-Ag teluride, a srebro pokazuje i halkofilna svojstva obrazujući takođe i Ag sulfide i sulfosoli (Tabela 9).

Zajedničko pojavljivanje zlata i srebra u prirodi predstavlja i osnov za njihovo zajedničko prikazivanje u ovom poglavlju. Međutim, pored zajedničkih (Au-Ag) ležišta

koja su obrazovana uglavnom u hidrotermalnom stadijumu, postoje i značajna ležišta zlata ili zlata i drugih metala u kojima je srebro podređeno zastupljeno. Tako na primer, prilično bitan tip ležišta zlata predstavlja porfirski Cu-Au tip ležišta u kojem se zlato javlja uglavnom u vidu mikroskopskih inkluzija samorodnog zlata u sulfidima, a dobija se procesom prerade koncentrata bakra. U obrnutom slučaju, postoje ležišta u kojima se srebro javlja u kombinaciji sa drugim metalima (npr. Ni-Co-Ag ležišta), ali bez značajnijeg prisustva zlata. Od naročitog značaja za dobijanje srebra mogu biti i Pb-Zn rude u kojima se srebro, uglavnom u vidu mikroskopskih zrna Ag sulfosoli, obogaćuje u koncentratu olova. Tokom metalurških postupaka prerade ovih koncentrata, pored olova, dobija se i srebro.

Platina i platinska grupa elemenata (PGE – Ru, Rh, Pd, Re, Os, Ir) uopšteno, grupisani su u ovom poglavlju zajedno sa ostalim plemenitim metalima – Au i Ag (Tabela 9), iako zapravo samo sporadično asociraju sa zlatom i srebrom. Metali iz PGE se u prirodi javljaju na specifičan način, odnosno zajedno su vezani za ranomagmatski stadijum i ultrabazične stene. Iz tog razloga se platina javlja uvek u asocijaciji sa drugim mineralima platinske grupe elemenata, obrazujući tako platinsku grupu minerala (PGM). Poznati tipovi ležišta vezani za već pomenute ranomagmatske procese, iz kojih se u nekim slučajevima dobijaju i Pt i ostali PGE, su: 1) ranomagmatska Cr (\pm PGE) ležišta, 2) likvaciona Ni-Cu (\pm PGE, Co, Au, Ag) ležišta i 3) nanosna ležišta platine. Naravno, postoje odstupanja od ove pravilnosti u pojavljivanju PGM-a i neki od ovih minerala ili selektivno neki elementi PGE-a, mogu da se pojave i u drugim sredinama. Tako na primer, pojedina porfirski Cu-(Au) ležišta pokazuju blago obogaćenje u paladijumu i pojavu Pd minerala (npr. *merenskit*, PdTe_2).

10.1 ZLATO, Au (teseralno)

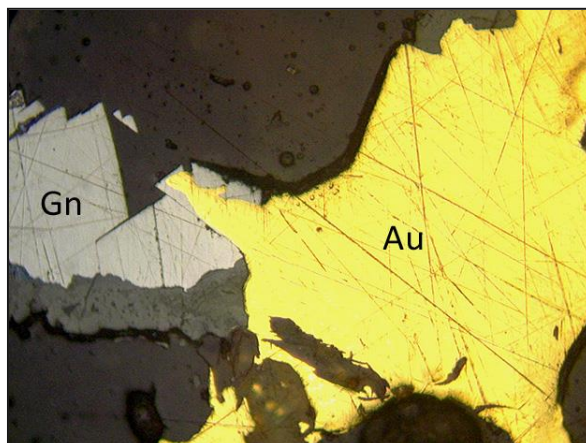
OPTIČKA SVOJSTVA I RELJEF (Slika 61)	
Boja	Zlatnožuta boja.
R%	Veoma visoka refleksija (R 74%).
A/I	Izotropan. Ponekad pokazuje lažnu anizotropiju usled prisustva ogrebotina.
U.R.	Bez unutrašnjih refleksa.
Tv.	Nizak reljef (tv. 2.5-3). Često zadobija ogrebotine po površini tokom poliranja.

Makroskopski: zlatnožuta boja i ista boja ogreba, metaličan, neprovidan, kovan.

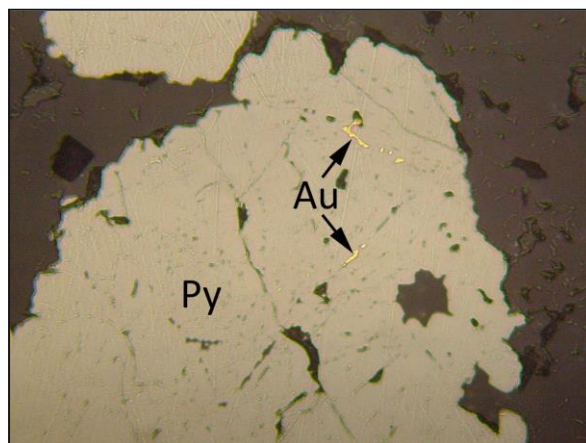
Hemizam. Zlato može da bude potpuno čisto, ali najčešće sadrži primese srebra do nekoliko procenata. Srebro pokazuje i povećane sadržaje (10-20 mas.% Ag, ređe i preko 20%), a prirodna legura zlata i srebra poznata je kao varijetet *elektrum*. Povišeni sadržaji srebra “razblažuju” zasićenu zlatnožutu boju ovog minerala, kako makroskopski tako i u mikroskopu, pri čemu je elektrum čak i bledežute boje.

Pored srebra, zlato se legira i sa drugim metalima od kojih nešto češće sa bakrom, a u ređim slučajevima i sa bizmutom (min. *maldonit*, Au_2Bi), živom, platinom i paladijumom. Usled prisustva Cu primesa, zlato zadobija crvenkastu nijansu u boji. Inače, zlato sa bakrom obrazuje čvrste rastvore i čitav niz prirodnih legura sa različitim odnosom ova dva metala (minerali: *tetraaurikuprid*, $AuCu$, *aurikuprid*, Cu_3Au i varijeteti raznih Au:Cu odnosa).

Forma. Zlato sasvim retko obrazuje euhedralne forme. U prirodi se najčešće javlja u ljustastim i dendritičnim agregatima ili u formi grumenja (*nuggets*), pri čemu su to karakteristični načini pojavljivanja makroskopskog zlata. Za rudnomikroskopska ispitivanja, kao i za ispitivanja ruda generalno, značajniji je mikroskopski način pojavljivanja zlata, jer se u mnogim rudnim ležištima najveće količine zlata javljaju u zrnima mikroskopskih veličina (sl. 62). Ovakva zrna zlata, sa veličinom zrna najčešće i ispod 0.1 mm (100 μ m), gotovo su uvek



Slika 61. Zlato (Au) pokazuje karakterističnu zlatnožutu boju i veoma visoku refleksiju, a javlja se u asocijaciji sa galenitom (Gn) (vazduh, //N, širina mikrografije ~1 mm). Preparat 2004, studentska zbirka – F5.



Slika 62. Pojava finih zrna zlata (Au) u piritu (Py) (vazduh, //N, širina mikrografije ~0.8 mm).

nepravilna, a mogu biti prisutna kako u sulfidnim mineralima (npr. piritu, halkopiritu), tako i u mineralima jalovine (npr. kvarcu). Ova fina zrna zlata mogu da predstavljaju inkluzije u mineralima (zlato obrazovano pre minerala “domaćina”), da prorastaju sa datim mineralom (istovremeno obrazovano zlato), ili da budu deponovana naknadnim procesima obrazovanja, zapunjavajući mikropore i pukotine u mineralu “domaćinu”. U ovom trećem slučaju, zlato zapravo obrazuje teksture zamenjivanja i cementovanja drugih

minerala. Pritom, često ne može sa sigurnošću biti utvrđeno da li je ovo zlato deponovano iz ascendentnih (primarno zlato) ili descendentnih rastvora (sekundarno zlato). Odredba karakteristika zlatonosnih fluida i procesa obrazovanja zlata, veoma je bitna u istraživanju rudnih ležišta. U tu svrhu, često se koristi tehnika nagrizanja zrna (videti potpoglavlje 4.5), kako bi se otkrila distribucija veoma finih zrna zlata u nekom mineralu i odredilo relativno vreme obrazovanja zlata u odnosu na taj mineral. Zlato ponekad može da obrazuje i bubrežaste forme sa ritmičkom (trakastom) precipitacijom.

Zonarnost kod zlata je relativno često zastupljena, a može biti predstavljena i različitim generacijama obrazovanja ovog minerala (zone narastanja). Takođe je i lamelarno bližnjenje često prisutno u zlatu.

Sulfidni minerali u nekom ležištu mogu u različitim količinama da sadrže zlato, pri čemu se ovaj plemeniti metal najčešće koncentriše u arsenopiritu i piritu (naročito arsenskom piritu). Pored mikroskopskog zlata, u sulfidnim mineralima može biti prisutno i submikroskopsko ili "nevidljivo" zlato veličine $<1 \mu\text{m}$, odnosno nanometarsko, često finodispergovano zlato. Ovakav način pojavljivanja zlata ne može biti uočen rudnomikroskopskim i SEM-EDS pregledom, već samo pojedinim sofisticiranim metodama ispitivanja. Ponekad, usled površinske alteracije i oksidacije sulfida, ovakvo zlato može da obrazuje fine čestice tj. praškaste agregate u produktima alteracije, a koji su vidljivi standardnim mikroskopskim metodama.

Postanak i asocijacija. Najznačajnije količine ovog minerala obrazovane su u celom opsegu postmagmatskog stadijuma; od pegmatitsko-pneumatolitskih orudnjenja, preko celog hidrotermalnog stadijuma, pa sve do niskotemperaturno hidrotermalnih parageneza. Iz tog razloga, zlato može da obrazuje veoma raznovrsne asocijacije.

Značajne pojave predstavljaju zlatonosne kvarcne žice obrazovane u pneumotalitskom do visokotemperaturno hidrotermalnom stadijumu u kojima se zlato javlja u asocijaciji sa piritom, halkopiritom i drugim sulfidima. Ukoliko je obrazovan u blizini krečnjaka, ovaj tip mineralizacije zlata pokazuje prelaze prema metasomatskim, tj. skarnovskim orudnjenjima u kojima se pored prethodno navedenih minerala u asocijaciji još javljaju i bizmut i drugi Bi minerali, skarnovski minerali, itd. U porfirskim ležištima bakra, zlato se javlja u značajnim količinama u vidu mikroskopskih zrna u piritu, halkopiritu i drugim mineralima.

U subvulkanskim Au ležištima, zlato se javlja u asocijaciji sa teluridima zlata, Ag mineralima, piritom i drugim sulfidima.

Značajna su i mezotermalna do epitermalna ležišta zlata, često obrazovana u sedimentnim stenama ("*sediment-hosted*"). U ovim ležištima, zlato se javlja u asocijaciji As-Sb-Hg-Te elemenata, odnosno u asocijaciji sa piritom (često arsenski pirit), markasitom, arsenopiritom, antimonitom, realgarom, cinabaritom i drugim mineralima.

Svakako jedan od važnijih tipova Au ležišta predstavljaju i nanosna ležišta zlata u kojima zrna i grumenje ovog minerala mogu dostići i centimetarske retko i veće (decimetarske) dimenzije. Ovaj tip zlata obično ima intenzivnije žutu boju u odnosu na korena nalazišta, jer je srebro često izluženo procesima površinske alteracije.

Zlato se može naći i u oksidacionim zonama zlatonosnih sulfidnih ležišta gde je najčešće u asocijaciji sa Fe-hidroksidima.

Dijagnostičke osobine. Relativno se lako prepoznaje na osnovu karakteristične boje i veoma visoke refleksije. Kada se javlja u finim zrnima veličine do oko $20 \mu\text{m}$, zlato može biti slično halkopiritu, naročito ako se ovakva zrna nalaze u jalovini. Međutim, od halkopirita se razlikuje po znatno višoj refleksiji, mestimično i po nešto nižem reljefu i čestom prisustvu ogrebotina.

10.2 Au-Ag teluridi

Silvanit, (Au,Ag)Te₂. Odnos Au:Ag može biti i 1:1, mada je on najčešće u korist zlata. Kristališe monoklinično. Optička svojstva: krembele do krembraon boje, jasan do jak pleohroizam; visoka do veoma visoka refleksija (R 52-62%); jaka anizotropija, umesto pravog gašenja javlja se tamnobraon boja, a zatim pokazuje i druge boje (svetla plavosiva, ružičastobela, svetlosiva žućkasta); bez unutrašnjih refleksa. Nizak reljef (tv. 1.5-2).

Makroskopski: olovnosive do srebrnobeke boje sa žućkastom primesom, olovnosivog ogreba, neprovidan, visokog metaličnog sjaja.

Ređe se javlja u kristalima, a najčešće obrazuje zrnaste ili pritkaste agregate. Ponekad se javlja u karakterističnim skeletnim formama. Može da pokaže cepljivost (savršena cepljivost po (010)). Međutim, gotovo je uvek prisutno prilično izrazito lamelarno bližnjenje, pri čemu veličina lamela znatno varira. U pojedinim zrnima lamele mogu biti krupne, dok su u drugim vidljive tek u ulju. Ponekad unutrašnji delovi krupnijih zrna ne pokazuju bližnjenje, dok je ono veoma prisutno u obodnim delovima istih zrna.

Često prorasta sa drugim Au teluridima, a javlja se još u asocijaciji sa zlatom, galenitom, sfaleritom, halkopiritom i drugim sulfidima. Jedan je od najzastupljenijih, ustvari verovatno i najzastupljeniji telurid zlata u prirodi. Nastaje hidrotermalno, najčešće niskotemperaturno, ali takođe i srednje- do visokotemperaturno, pri čemu se javlja u mnogim subvulkanskim Au-Ag-Te metaličnim žicama. U ovim žicama je često i glavni nosilac zlata. Takođe se nalazi i u intruzivno-hidrotermalnim zlatonosnim žicama u kojima samo ponekad može biti prisutan u značajnijim količinama.

Kalaverit, AuTe₂. Kristališe monoklinično. Optička svojstva: bele boje sa slabom mrkožutom primesom, slab pleohroizam;

veoma visoka refleksija (60-66%), slaba anizotropija, bez unutrašnjih refleksa. Nizak reljef (tv. 2.5-3).

Makroskopski: srebrnobeke do mesinganožute boje, zelenkasto- do žućkastosivog ogreba, metaličan, neprovidan.

Ovaj mineral obično sadrži do nekoliko procenata srebra. Često se javlja u euhedralnim formama. Ponekad pokazuje teksture zamenjivanja sa zlatom koje se razvijaju u oba pravca.

Nastaje hidrotermalno i javlja se od visoko- do niskotemperaturnih zlatonosnih žica, u asocijaciji sa drugim teluridima, zlatom, piritom i drugim sulfidima. Čest je u zlatonosnim žicama obrazovanim na većim dubinama, gde predstavlja jedan od poslednjeobrazovanih rudnih minerala. Međutim, u ovim žicama je retko prisutan u značajnijim količinama.

Od telurida zlata, kalaverit i silvanit predstavljaju najznačajnije rude. Mada je ovaj tip rude zlata, u odnosu na zlato (samorodno), daleko manjeg značaja za produkciju ovog plemenitog metala.

Krenerit, (Au,Ag)Te₂. Kristališe rombično. Optička svojstva: krembela boja, slab pleohroizam, ali znatno izrazitiji u ulju; veoma visoka refleksija (R 72%), mada se u literaturi nalaze podaci i nešto niže refleksije; jaka anizotropija, pri čemu u najtamnijem položaju nema potpunog gašenja, već pokazuje tamnobraon boju; bez unutrašnjih refleksa. Nizak reljef (tv. 2-3).

Makroskopski: srebrnobeke do blede branzanožute boje, zelenkastosivog ogreba, visokog metaličnog sjaja, neprovidan.

Često obrazuje teksture zamenjivanja, pri čemu je krenerit u mnogim ležištima prvoobrazovani telurid zlata i potom zamenjen drugim teluridima, čak i onim koji ne sadrže zlato. Takođe i krenerit može da zamenjuje neke druge Au teluride, npr. silvanit. Postanak i asocijacija su slični kao kod ostalih Au-Ag telurida.

Hesit, Ag_2Te . Kristališe monoklinočno, a na temperaturi preko 155 °C je teseralan. Optička svojstva: sivobele boje, u ulju se menja u braonkastu; visoka refleksija (R 39-41%), jasna anizotropija (tamnonarandžasta do tamnoplava), bez unutrašnjih refleksa. Nizak reljef (tv. 2-3).

Makroskopski: čeličnosive boje sa ružičastom primesom na svežim prelomima, metaličan, neprovidan.

Lamelarno bližnjenje je kod hesita prilično karakteristično i gotovo uvek prisutno.

Nastaje hidrotermalno i javlja se u subvulkanskim zlatonosnim i srebronosnim žicama u asocijaciji sa ostalim teluridima (kalaverit, silvanit, itd.), zlatom i drugim mineralima.

Pecit, Ag_3AuTe_2 . Kristališe teseralno. Optička svojstva: svetlosiva boja sa slabom ružičastom primesom koja postaje intenzivnija u ulju; visoka refleksija (R 39%), izotropan, ali lokalno pokazuje slabu anizotropiju; bez unutrašnjih refleksa. Nizak reljef (tv. 2.5-3).

Makroskopski: čeličnosive do tamnosive boje, skramira, metaličan, neprovidan.

Javlja se kako u intruzivnim tako i u subvulkanskim zlatonosnim žicama, u asocijaciji sa ostalim teluridima (kalaverit, krenerit, silvanit) sa kojima ponegde obrazuje teksture dekompozicije.

Kostovit, CuAuTe_4 . Često sadrži primese srebra usled čega je u literaturi njegova formula data i kao $(\text{Cu,Ag})\text{AuTe}_4$. Kristališe rombično, mada nema dovoljno podataka o strukturi, zato što se uglavnom javlja u zrnima mikroskopskih veličina. Optička

svojstva: krembela boja sa ružičastom nijansom, prilično visoka refleksija (R 50-61%), jasna birefleksija; jasna anizotropija. Nizak reljef (tv. 2-2.5).

Relativno je redak mineral i nema dovoljno podataka o optičkim i drugim svojstvima ovog minerala. Javlja se u zlatonosnim ležištima bakra porfirskih sistema u Bugarskoj (otkriven je u ležištu Čelopek). U Cu rudi iz Brestovca (Borska zona), pojedina veoma fina zrna prema hemijskom sastavu odgovaraju ovom mineralu (nepublikovani podaci autora). Naziv je dobio prema poznatom profesoru Ivanu Kostovu, bugarskom mineralogu.

Nađagit, $(\text{Te,Au})\text{Pb}(\text{Pb,Sb})\text{S}_2$. Kristališe monoklinočno, javlja se pseudotetragonalno. Optička svojstva: sivobela boja (slična galenitu), slab pleohroizam; visoka refleksija (R 40-42%); jasna anizotropija, često undulturno gašenje; bez unutrašnjih refleksa. Nizak reljef (tv. 1.5).

Makroskopski: sive boje, sivocrnog ogreba, metaličan, neprovidan.

Uglavnom se javlja u tankim tabličastim kristalima, često savijenim i po kojima mogu da se obrazuju pseudomorfoze altaita, ponekad i krenerita i drugih minerala. Nastaje hidrotermalno (uglavnom epitermalno) i javlja se u asocijaciji sa Au-Ag teluridima, od kojih se jasno razlikuje po nešto drugačijim optičkim osobinama i prilično niskoj tvrdini. U značajnijim količinama prisutan je u epitermalnim zlatonosnim žicama rudnika Nađag (*Nagyag*, oblast *Săcăramb*) u Rumuniji, u kojem je otkriven i po kojem je i dobio naziv, a *sakarambit* je sinonim za ovaj mineral.

10.3 SREBRO, Ag (teseralno)

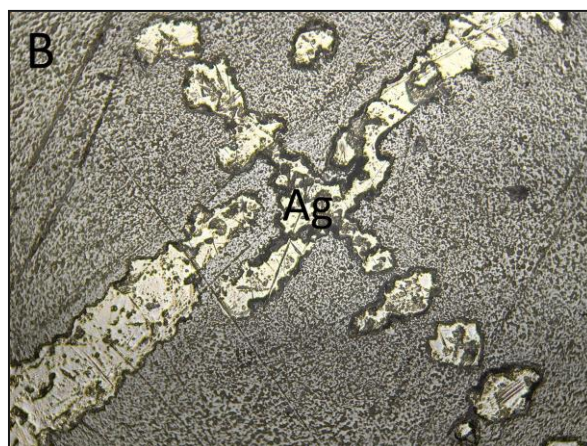
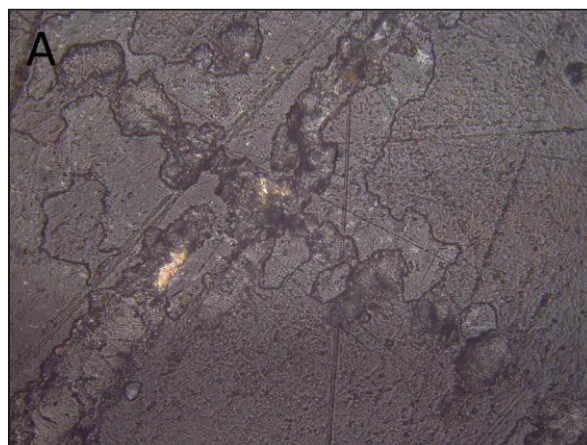
OPTIČKA SVOJSTVA I RELJEF (Slika 63)	
Boja	Sjajnobelo sa krem primesom, veoma brzo skramira.
R%	Veoma visoka refleksija (R 95%). Srebro je mineral koji pokazuje najvišu refleksiju.
A/I	Izotropan. Može da pokaže lažnu anizotropiju usled prisutnih ogrebotina.
U.R.	Bez unutrašnjih refleksa.
Tv.	Nizak reljef (tv. 2.5-3).

Makroskopski: srebrnobeļa boja i ista boja ogreba, metaličan, neprovidan, kovan.

Hemizam. Srebro može da sadrži Au, Hg, Sb, Bi, Cu i neznatno Fe primese, odnosno da obrazuje čvrste rastvore (legure) sa ovim metalima. Poznato je da je zlato često legirano srebro (varijetet elektrum), ali takođe su mogući i čvrsti rastvori u kojima srebro preovlađuje (varij. *kjustelit*). Srebro se legira sa živom u različitim odnosima, usled čega se javljaju mnogi varijeteti odnosno amalgami srebra, kao na primer *kongsbergit* (Ag,Hg), ali takođe i zasebni minerali sa različitim odnosima ova dva metala (npr. *eugenit*, $Ag_{11}Hg_2$ i *mošelandzbergit*, Ag_2Hg_3). Antimon se nalazi u vidu primesa u srebru, a povišeni Sb sadržaji obrazuju i prelaze prema antimonidima srebra (npr. *diskrasit*, Ag_3Sb , str. 117). Pojedine faze sa višim Ag:Sb odnosima, kao na primer mineral *alargentum*, Ag_6Sb , ponekad se svrstavaju u klasu samorodnih elemenata i legura. Što se tiče bizmuta i bakra, srebro može da sadrži najčešće do 8% Bi i 1% Cu.

Forma. Ovaj mineral se retko javlja u euhedralnim formama. Obično obrazuje nepravilne, finozrne ili dendritične agregate, ali i druge karakteristične forme kao što su na primer, skeletni agregati (sl. 63).

Često pokazuje lamelarno bližnjenje koje nastaje usled rasta kristala pod usmerenim pritiskom (stresom), a lamele su obično povijene. Zonarnost je ponekad ispoljena, naročito kod dendritičnih agregata.



Slika 63. Karakteristični skeletni agregati srebra (Ag), stajanjem na vazduhu brzo skramiraju (A), usled čega je neophodno prepolarizirati preparat (B) (vazduh, //N, širina mikrofografija ~1 mm). Preparat 92, studentska zbirka – F5.

Teksture zamenjivanja su kod srebra veoma česte, pri čemu srebro još iz ascedentnih rastvora zamenjuje druge minerale (tetraedrit, halkopirit, galenit, Ag minerale i naročito akantit i Ni-Co minerale). Srebro iz descendentnih rastvora takođe zamenjuje mnoge sulfide i često ne može sa sigurnošću biti utvrđeno da li je ovaj mineral primarnog ili sekundarnog porekla.

Postanak i asocijacija. Nastaje hidrotermalno, uglavno u mezotermalnom stadijumu. Javlja se i kao sekundarni mineral u oksidacionim zonama sulfidnih ležišta. Asocijacija: akantit, Ag sulfosoli, zlato, sulfidi.

Dijagnostičke osobine. Prepoznaje se po optičkim svojstvima, naročito sjaju, ali i po osobini da veoma brzo skramira.

10.4 AKANTIT (ARGENTIT), Ag_2S

monoklinično (iznad 173 °C teseralno)

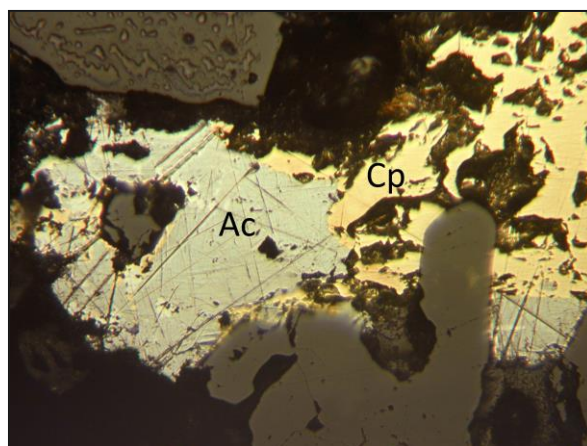
OPTIČKA SVOJSTVA I RELJEF (Slika 64)	
Boja	Svetlosiva, često sa zelenom primesom, veoma slab pleohroizam. Prilično brzo skramira.
R%	Srednja refleksija (R 30-31%).
A/I	Jasna anizotropija (nijanse sive), često maskirana prisustvom ogrebotina.
U.R.	Bez unutrašnjih refleksa.
Tv.	Nizak reljef (tv. 2-2.5). Često su prisutne ogrebotine usled kojih se teže postiže dobro polirana površina.

Makroskopski: gvozdencrne boje, crnog ogreba, neprovidan, metaličan.

Hemizam. Može da bude hemijski čist, mada najčešće sadrži Cu i Se primese.

Forma. U prirodi se zapravo javlja samo akantit, s obzirom da je visokotemperaturni teseralni polimorf argentit stabilan samo na temperaturama iznad 173 °C, a tokom hlađenja uvek prelazi u monoklinični akantit. Iz tog razloga, akantit može da se javi u euhedralnim teseralnim kristalima koji ukazuju na prvoobrazovani argentit. S obzirom da "nasleđuje" teseralnu formu, akantit zapravo obrazuje pseudomorfozu po argentitu. Akantit se takođe javlja i u anhedralnim polikristalnim agregatima.

Lamelarno bližnjenje koje se javlja usled inverzije od teseralne do monoklinične



Slika 64. Pojava akantita (Ac) u asocijaciji sa halkopiritom (Cp) (vazduh, //N, širina mikrofografije ~0.7 mm). Preparat 70, studentska zbirka – F5.

simetrije, takođe ukazuju na temperaturu primarnog obrazovanja od preko 173 °C.

Postanak i asocijacija. Nastaje hidrotermalno i obično se javlja u mezo- i epitermalnom stadijumu, pri čemu se direktno iz rastvora obrazuje na temperaturama ispod 173 °C. Javlja se u asocijaciji sa srebrom, Ag sulfosolima, galenitom, sfaleritom, halkopiritom i drugim mineralima.

Dijagnostičke osobine. Donekle može biti sličan pojedinim Ag sulfosolima, ali se ipak pouzdano identifikuje.

10.5 Ag sulfosoli

Pirargirit, Ag_3SbS_3 i prustit, Ag_3AsS_3 . Kristališu heksagonalno i obrazuju seriju čvrstih rastvora. Optička svojstva: svetlosivi sa plavičastom primesom koja je intenzivnija kod pirargirita, jasan do jak pleohroizam; srednja refleksija (pirargirit R 26-28%; prustit R 23-26%); jaka anizotropija (žučkastosiva, plavičastosiva), ali uglavnom maskirana unutrašnjim refleksima; česti unutrašnji refleksi karmincrvene do tamnocrvene boje, kod prustita intenzivniji i svetliji (svetlocrvene boje). Nizak reljef (tv. 2-2.5).

Makroskopski: crvene do bordo boje, prozračni, crvenog ogreba, dijamantskog sjaja. Zbog ovakvih optičkih osobina, rude ovih minerala dobile su naziv "rubin srebro" ("*ruby silver*").

Nastaju niskotemperaturno hidrotermalno i u hidrotermalnim žicama mogu biti obrazovani kao primarni minerali kasnije sukcesije deponovanja. Takođe mogu biti obrazovani sekundarnim procesima. Javljuju se u asocijaciji sa srebrom, akantitom, tetraeditom i drugim Ag sulfosolima.

Polibazit, $(\text{Ag,Cu})_{16}\text{Sb}_2\text{S}_{11}$ i pirseit, $(\text{Ag,Cu})_{16}\text{As}_2\text{S}_{11}$. Kristališu monoklinično i međusobno obrazuju seriju čvrstih rastvora. Optička svojstva: sive do zelenkastosive boje, slab pleohroizam; srednja refleksija (R 28-34%); jasna anizotropija, često u ljubičastim tonovima; veoma retki unutrašnji refleksi, u ulju tamni višnjacrveni. Nizak reljef (tv. 2-3).

Makroskopski: gvozdencrne boje, crnog ogreba, metalični, neprovidni, u tankim presecima prozračni (tamnocrveni u propuštenoj svetlosti).

Javljuju se u srebronosnim hidrotermalnim žicama obrazovanim na niskim do srednjim temperaturama, u asocijaciji sa ostalim mineralima srebra, galenitom, sfaleritom i drugim sulfidima.

Stefanit, Ag_5SbS_4 . Kristališe rombično. Optička svojstva: sivkastobeo sa maslinastožutom primesom, jasan pleohroizam; srednja refleksija (R 27-30%); jaka anizotropija sa izrazitim bojenim efektima. Nizak reljef (tv. 2-2.5).

Makroskopski: gvozdencrne boje, crnog ogreba, metaličan, neprovidan.

Nastaje hidrotermalno u kasnijem stadijumu obrazovanja srebronosnih ležišta, u asocijaciji sa ostalim mineralima srebra, tetraeditom, galenitom, sfaleritom, piritom i drugim mineralima.

Miargirit, AgSbS_2 . Kristališe monoklinično. Optička svojstva: sivkastobeo sa plavičastom primesom, jasan pleohroizam; srednja refleksija (R 32-36%); jasna do jaka anizotropija u belim i svetlosivim nijansama, višnjacrveni unutrašnji refleksi, naročito vidljivi u ulju. Nizak reljef (tv. 2.5).

Makroskopski: gvozdencrne do olovnosive boje, višnjacrvenog ogreba, metaličan, neprovidan, prozračan u tankim presecima (višnjacrvena boja u propuštenoj svetlosti).

Nastaje hidrotermalno u kasnijem stadijumu obrazovanja srebronosnih ležišta, u asocijaciji sa ostalim mineralima srebra i drugim mineralima.

Matildit, AgBiS_2 . Kristališe heksagonalno. Optička svojstva: beo sa krem primesom do sivobebe sa zelenkastom primesom, jasan pleohroizam; visoka refleksija (R 42-44%); jasna do jaka anizotropija u ljubičastim i mrkim tonovima, bez unutrašnjih refleksa. Nizak reljef (tv. 2-2.5).

Makroskopski: gvozdencrne do sive boje, bledosivog ogreba, metaličan, neprovidan.

Nastaje u hidrotermalnim ležištima obrazovanim u kata- i mezotermalnom stadijumu, a prisutan je i u pegmatitima. Javlja se u asocijaciji sa najčešćim sulfidima (pirit, galenit, itd), bizmutinitom, ajkinitom, hesitom i drugim mineralima.

Diskrasit, Ag_3Sb . Kristališe rombično. Optička svojstva: bele boje, često sa žućkastom primesom, slab pleohroizam; veoma visoka refleksija (R 60-63%); slaba do jasna anizotropija (braonkaste nijanse); bez unutrašnjih refleksa. Srednji reljef (tv. 3.5-4).

Makroskopski: srebrnobeke boje i iste boje ogreba, skramira, metaličan, neprovidan.

Uglavnom obrazuje euhedralne tabličaste kristale i agregate nepravilnih zrna. Može da pokaže bližnjenje.

Javlja se u hidrotermalnim žicama u asocijaciji sa ostalim Ag mineralima, a može da bude primarnog ili sekundarnog porekla.

Štromajerit, AgCuS . Kristališe rombično. Optička svojstva: sivobeo sa ljubičastom do ružičastom primesom, slab pleohroizam, u

ulju jasan; srednja refleksija (R 26-30%); jaka anizotropija (svetloljubičasta, purpurna, plava, braon, narandžastožuta); bez unutrašnjih refleksa. Nizak reljef (tv. 2.5-3).

Makroskopski: tamnosive boje, skramira plavičasto, sivog ogreba, metaličan, neprovidan.

Javlja se u hidrotermalnim žicama u kojima može biti primarni mineral, ali se najčešće obrazuje kao sekundarni mineral u različitim asocijacijama u kojima se nalaze primarni minerali bakra. Prisutan je, na primer, u pojedinim Cu-Ag mineralizacijama u crvenim permskim peščarima istočne Srbije, u kojima se javlja u vidu veoma fino zrnih (praškastih) agregata sekundarnog porekla (nepublikovani podaci autora).

10.6 PLATINA, Pt (teseralno)

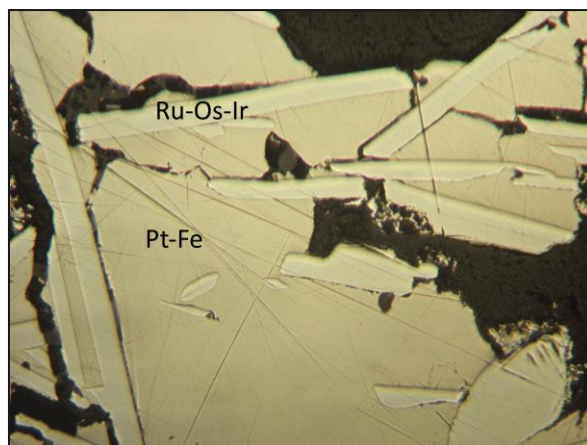
OPTIČKA SVOJSTVA I RELJEF (Slika 65)	
Boja	Bela boja. Zadobija nijanse (uglavnom žućkaste ili plavičaste) u zavisnosti od minerala u okruženju i u manjoj meri od hemizma, odnosno Fe primesa.
R%	Veoma visoka refleksija (R 70%).
A/I	Izotropan.
U.R.	Bez unutrašnjih refleksa.
Tv.	Srednji reljef (tv. 4-4.5).

Makroskopski: srebrnabela, čeličnosiva do tamnosiva boja (sa porastom Fe primesa), sivog ogreba, metaličan, neprovidan.

Hemizam. Veoma često sadrži Fe primese obrazujući Pt-Fe legure, varij. *poliksen* <10% Fe i minerale *izoferoplatina* Pt_3Fe (teseralno, tj. *izometričan*) i *tetraferoplatina* $PtFe$ (*tetragonalno*). Takođe obrazuje legure i sa PGE (Ru, Rh, Pd Os, Ir) i bakrom, pri čemu postoje mnogi varijeteti i minerali sa različitim kombinacijama i stehiometrijskim odnosima ovih metala.

Forma. Obično se javlja u zrnastim agregatima (finozrnim do grubozrnim), a u manjoj meri pokazuje dobro razvijene kristalne forme (euhedralna zrna). U nanosima se javlja u finim ljuspičastim do pločastim zrnima, a ređe obrazuje i krupnija zrna, tj. grumenje. U pojedinim slučajevima, kada je platina obrazovana dekompozicijom Pt arsenida i/ili sulfida (sperilit, kuperit i dr.), javlja se u bubrežastim agregatima i konkrecionim masama čija se koncentrična građa zapaža najčešće nakon nagrizanja.

Može da pokaže zonarnost, a takođe i bliženjenje po (111) koje se uočava nakon nagrizanja. U pojedinim slučajevima sadrži fina izdvajanja drugih minerala, tačnije legura PGM (platinske grupe minerala). Mada, ovi minerali mogu da budu prisutni u platini i u vidu inkluzija, kao i da obrazuju prorastanja sa platinom. Na primer, heksagonalni minerali *iridosmin* (Os,Ir) i *ruteniridosmin* (Ir,Os,Ru), koji imaju znatno višu tvrđinu 6-7, često se javljaju u platini u vidu pločastih formi (sl. 65).



Slika 65. Pojava platine legirane gvožđem (varij. poliksen, Pt-Fe) i legure Ru-Os-Ir (min. ruteniridosmin). Platina u prisustvu ruteniridosmina pokazuje kremžutu nijansu i znatno niži reljef (vazduh, //N, širina mikrofografije ~1 mm). Preparat PGM (separisana PGM zrna iz nanosa reke Srebrenice u okolini manastira Veluće kod Trstenika), studentska zbirka – F5.

Postanak i asocijacija. Nastaje u ranomagmatskom stadijumu i može se javiti u ležištima hromita vezanim za dunite (asocijacija: hromit, PGM, olivin, serpentinski minerali), a takođe i u likvacionim Ni-Cu ležištima (asocijacija: pirotin, halkopirit, pentlandit, magnetit, PGM, Ni-Co minerali). Značajne su pojave platine u nanosima reka sa ultrabazičnih masiva, kada se obrazuju i nanosna ležišta platine (tj. PGE). Ređe nastaje kao produkt površinske alteracije Pt sulfida i arsenida, kao i drugih sulfida koji sadrže platinu u vidu primesa. Sasvim retko se još javlja i u hidrotermalnim kvarcnim žicama i kontaktno-metamorfnim ležištima.

Dijagnostičke osobine. Na osnovu veoma visoke refleksije, platina se lako razlikuje od većine rudnih minerala (sulfida, oksida, itd.). Međutim, može pokazivati sličnosti sa pojedinim mineralima sa kojima se javlja u asocijaciji, tačnije PGM legurama i još nekim relativno ređim mineralima, kao na primer avaruitom (Ni-Fe legura). Ovaj mineral je donekle sličan i srebru, ali srebro brzo skramira i ne javlja se u asocijacijama koje su karakteristične za platinu.

11. Bi, Sn, W, Mo, Nb-Ta, U minerali

Tabela 10. Najznačajniji Bi, Sn, W, Mo, Nb-Ta, U minerali.

<i>Minerali bizmuta</i>		<i>Minerali molibdena</i>	
Bizmut, Bi	11.1	Molibdenit, MoS ₂	11.8
Bizmutinit, Bi ₂ S ₃	11.2	<i>Nb-Ta minerali</i>	11.9
Tetradimit, Bi ₂ Te ₂ S	11.3	Kolumbit, (Fe,Mn)(Nb,Ta) ₂ O ₆	
Telurobizmutit, Bi ₂ Te ₃		Tantalit, (Fe,Mn)(Ta,Nb) ₂ O ₆	
<i>Minerali kalaja</i>		<i>Minerali urana</i>	
Kasiterit, SnO ₂	11.4	Uraninit, UO ₂	11.10
Stanin, Cu ₂ FeSnS ₄	11.5		
<i>Minerali volframa</i>			
Šelit, CaWO ₄	11.6		
Volframit, (Fe,Mn)WO ₄	11.7		

Minerali ovih metala zajedno su prikazani u ovom poglavlju na osnovu njihovih zajedničkih geoloških sredina i stadijuma obrazovanja u kojima se najčešće javljaju. Prosečni sadržaji ovih metala u zemljinoj kori su prilično niski (izuzev niobijuma): Nb 20 ppm, Sn, U i Ta 2.5 ppm, W 1.3 ppm, Mo 1.1 ppm, Bi 9 ppb. Svi ovi metali, izuzev bizmuta i molibdena, pokazuju pretežno litofilni karakter, a u prirodi se javljaju uglavnom u vidu katjona većeg naelektrisanja (od 4+ do 6+) i većeg jonskog radijusa. Iz tog razloga, ne ulaze izomorfim zamenjivanjima u strukture petrogenih minerala (silikata) tokom magmatske kristalizacije, već se koncentrišu u postmagmaom ostatku. Na taj način, ovi metali obrazuju svoje minerale (uglavnom iz grupe oksida) koji se koncentrišu u prelaznim stadijumima od magmatskog u postmagmaomski. Ovi minerali mogu obrazovati ležišta ili samo biti sporadično prisutni u alterisanim granitima (grajzenima), pegmatitima, kao i pneumatolitsko-hidrotermalnim i visokotemperaturnim žicama. Pritom, mogu se naći zajedno u pomenutim asocijacijama, mada ređe svi zajedno, već uglavnom pojedine kombinacije minerala odnosno metala (npr. Mo-W ili Nb-Ta, U). Na široj skali, tj. u nekom granitskom kompleksu, sadržaji ovih metala mogu biti generalno

povišeni. U skladu sa tim, minerali ovih metala iz grupe oksida, koji su rezistentni na prosece površinske alteracije, mogu se zajedno javiti u nanosima, a u pojedinim slučajevima i obrazovati nanosna ležišta.

Za razliku od ostalih, bizmut pokazuje pretežno halkofilna svojstva. Pored prethodno opisanih asocijacija, prisutan je u raznim tipovima polimetalnih ruda, ponekad i u značajnijim količinama. Deponovanje ovih ruda, pored visokotemperaturnog, obuhvata i srednjotemperaturni hidrotermalni stadijum. Naročito je karakteristična asocijacija Bi minerala sa mineralima nikla i kobalta u Ni-Co rudama, koje mogu da sadrže i druge metale u značajnijim količinama, kao na primer U i Ag. Na taj način u ovim rudama se javljaju različite kombinacije metala koje rudu čine kompleksnijom, od kojih je najkompleksnija Ni-Co-Bi-U-Ag asocijacija ("petoelementna rudna formacija", pogl. 13).

Prethodno opisane sredine obrazovanja u kojima se javlja ova grupa metala, mogu biti od značaja i za pojavu minerala retkih zemalja, od kojih su najznačajniji *monacit*, (Ce,La,Nd,Th)PO₄ i *ksenotim*, YPO₄. Ovi minerali predstavljaju važne rude elemenata retkih zemalja (lantanoida). Međutim, kako su monacit, ksenotim i drugi minerali retkih zemalja prozračni i niske refleksije, samim tim nemaju jasna optička svojstva u odbijenoj svetlosti. Pored toga, obično se ne javljaju u asocijacijama sulfida i drugih rudnih minerala koje su predmet rudnomikroskopskih ispitivanja. Iz ovih razloga, rudna mikroskopija se obično ne primenjuje za istraživanje minerala retkih zemalja, mada se sporadično može primenjivati za njihovu determinaciju, naročito u kombinaciji sa drugim metodama (uglavnom SEM-EDS metoda).

11.4 KASITERIT, SnO₂ (tetragonalno)

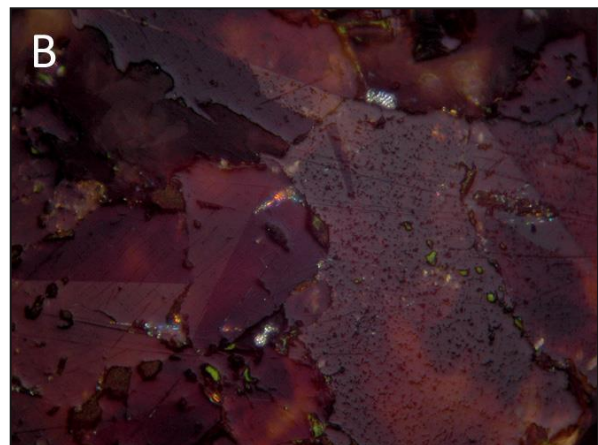
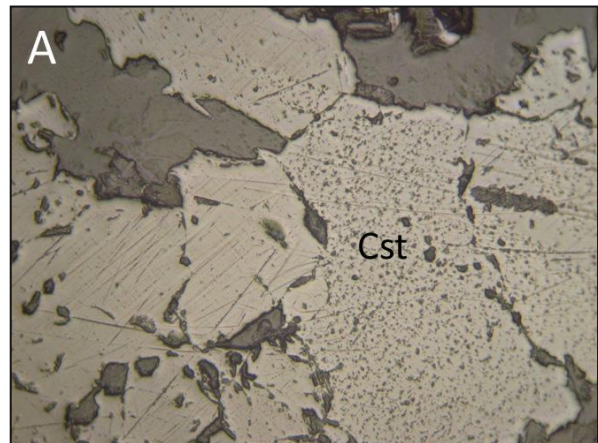
OPTIČKA SVOJSTVA I RELJEF (Slika 70)	
Boja	Siva boja sa slabom mrkom nijansom; veoma slab pleohroizam, u ulju slab.
R%	Niska refleksija (R 12%).
A/I	Jasna anizotropija (svetlo do tamno siva), često maskirana unutrašnjim refleksima.
U.R.	Jaki unutrašnji refleksi (svetlo žuti, žutomrki, mrkocrveni).
Tv.	Visok reljef (tv. 6.5-7), pokazuje šagriranu površinu.

Makroskopski: svetložute, žutomrke, mrkocrvene, mrkocrne do crne boje, prozračan do skoro neprovidan, dijamantskog do polumetaličnog sjaja.

Hemizam. Obično sadrži Nb, Ta, Fe³⁺ i W primese, koje mogu da obrazuju i fina izdvajanja u kasiteritu (opisano u nastavku).

Forma. Javlja se u nepravilnim do masivnim i zrnastim agregatima. Takođe obrazuje i individualna suphedralna do euhedralna zrna (kristale). Oblik zrna često pokazuje zavisnost od načina postanka, i tako, pored već pomenutih i uobičajenih načina pojavljivanja, ovaj mineral ponekad pokazuje i neke specifične forme. Tako na primer, u uslovima kontaktno-pneumatolitskog i hidrotermalnog stadijuma može da obrazuje igličaste kristale. Zatim, kasiterit koji je nastao na niskim temperaturama, ali još uvek u hidrotermalnim uslovima, pokazuje koncentrične do bubrežaste agregate tzv. "drveni kalaj" ("wood tin"). Ova specifična forma kasiterita koja liči na ahat, nastala je rekristalizacijom prvobitno gelskih taloga. Na kraju, slabo vezani praškasti agregati kasiterita nastaju površinskom alteracijom stanina (str. 125) i drugih ređih kalajnosnih sulfida.

Ovaj mineral veoma često pokazuje bližnjenje, kako dodirno (sl. 71) tako i lamelarno, pri čemu su lamele obično nešto krupnije (tj. deblje). Ređe se javlja fino lamelarno bližnjenje nastalo dejstvom mehaničkih pritisaka.



Slika 70. Kasiterit (Cst) poseduje više dijagnostičkih osobina na osnovu kojih se relativno lako prepoznaje. Sa paralelnim nikolima (A – //N) pokazuje svetlije sivu boju i nešto višu refleksiju u odnosu na jalovinu (tamno siva), a takođe i rupičasto-šagriranu površinu. Sa ukrštenim nikolima (B – xN) pokazuje jasnu anizotropiju, mrkocrvene unutrašnje reflekse i karakteristično bližnjenje (vazduh, širina mikrofografija ~1 mm). Preparat 3A, studentska zbirka – F6.

Kasiterit prilično često pokazuje i zonarnost, koja može biti uzrokovana prisustvom prethodno navedenih primesa, ali takođe i zonarnim rasporedom pora ili finih produkata izdvajanja. Zapravo, kasiterit može da sadrži fina izdvajanja, najčešće Nb-Ta minerala kolumbita, tantalita i tapiolita (str. 129) (s obzirom da su ova dva metala prisutna u kasiteritu u vidu primesa).

Kasiterit obično kristališe u početnim sukcesijama deponovanja neke parageneze. Usled toga, često biva podvrgnut

deformacijama izazvanim naknadnim pritiscima, a kako je prilično krt mineral, veoma često obrazuje kataklastične teksture koje mogu biti i prilično intenzivne.

Iako je kasiterit poznat kao rezistentan mineral, ponekad ipak pokazuje teksture zamenjivanja u oba pravca. U pojedinim ležištima ovaj mineral je ređe zamenjen sulfidima, a takođe i sam kasiterit može zamenjivati druge minerale, kako kvarc, topaz i druge silikate, tako i stanin i druge sulfide. U ređim slučajevima ovaj oksid kalaja pokazuje mirmekitska prorastanja sa drugim mineralima (poznata su ovakva prorastanja sa kvarcom, fluoritom i kalcitom).

Postanak i asocijacija. Postanak kasiterita se gotovo uvek vezuje za granitoidne komplekse u kojima ovaj mineral nastaje autometamornim i postmagmatskim procesima. Iz tog razloga se javlja u grazenima, pegmatitskim i pneumatolitsko hidrotermalnim žicama, odnosno ležištima. Ovde je uglavnom u asocijaciji sa silikatima (kvarc, feldspati, muskovit, turmalin, topaz i dr.), zatim, volframitom, šelitom, molibdenitom, bizmutom, a u manjoj meri i pojedinim sulfidima (pirotin, halkopirit, stanin i dr.). Ova grupa ležišta, zajedno sa nanosnim, prilično značajnim tipom Sn ležišta obrazovanim erodovanjem ovakvih granitoidnih kompleksa, obezbeđuje gotovo svu eksploataciju i produkciju kalaja.

Prethodno pomenuta pneumatolitsko-hidrotermalna Sn ležišta dalje postepeno prelaze u tipične hidrotermalne žice sa znatnim sadržajem sulfida. U ovim ležištima kasiterit se u velikoj meri javlja sa sulfidima – staninom, ređim Sn sulfidima, piritom, arsenopiritom, sfaleritom, galenitom, sulfosolima, itd.

Ređe nastaje i kontaktno-metamorfno i u formi već pomenutog “drvenog kalaja”. Ovaj specifični varijetet nastaje iz toplih rastvora i javlja se u žicama u riolitima, a retko je vulkansko-eshalativnog porekla. Na kraju, kasiterit može biti sekundarnog porekla, nastao procesima površinskih alteracija pretežno stanina.

Dijagnostičke osobine. Bez obzira što na osnovu sive boje i niske refleksije može biti sličan mineralima jalovine i sfaleritu, kasiterit se relativno lako prepoznaje na osnovu dijagnostičkih osobina koje su prikazane i opisane na slici 70. Ipak, treba biti obazriv, jer u okruženju samo sulfidnih minerala može biti pomešan sa mineralima jalovine (tj. prepoznat kao jalovina). Ukoliko je preparat veoma dobro ispoliran, umanjuje se značaj reljefa kao dijagnostičke osobine. Tom prilikom kasiterit može biti pomešan sa sfaleritom, naravno, samo u slučajevima kada je anizotropija kasiterita potpuno maskirana unutrašnjim refleksima.

11.5 STANIN, $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$ (tetragonalno)

OPTIČKA SVOJSTVA I RELJEF (Slika 71)	
Boja	Maslinastosiva.
R%	Srednja refleksija (R 28%).
A/I	Jasna anizotropija (ljubičastoplava, maslinastosiva).
U.R.	Bez unutrašnjih refleksa.
Tv.	Srednji reljef (tv. 4).

Makroskopski: olovnosive do čeličnocrne boje, metaličan, neprovidan.

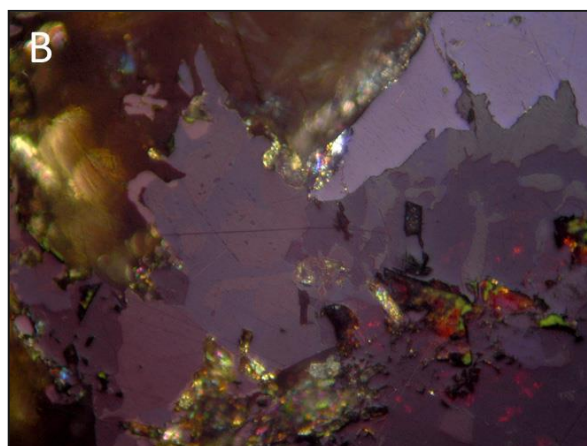
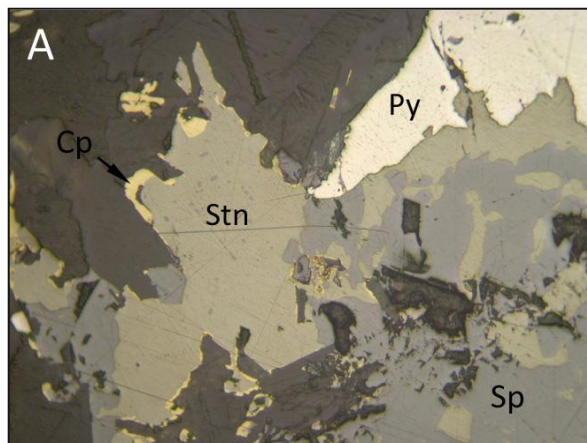
Hemizam. Kako stanin pokazuje sličnosti u strukturi minerala sa halkopiritom i sfaleritom, često i sadrži male količine rastvorenog CuFeS_2 ili ZnS u vidu primesa. Može da sadrži i primese indijuma.

Forma. Retko obrazuje euhedralne forme (pseudo-oktaedarski habitus usled bližnjenja) i glavnom se javlja u zrnastim i masivnim agregatima.

U pojedinim slučajevima stanin pokazuje bližnjenje, a takođe je ponekad i zonarnost prisutna u ovom mineralu.

Saglasno gore opisanom hemizmu, u staninu (hlađenjem minerala) dolazi do izdvajanja halkopirita i sfalerita. Naročito su česta izdvajanja halkopirita u formi finih lamela koje mogu da budu toliko sitne da se ponekad i ne zapažaju rutinskim rudnomikroskopskim pregledom. Pored tekstura izdvajanja, stanin obrazuje i orjentisana prorastanja sa ova dva minerala.

Sa halkopiritom obrazuje mirmekitska prorastanja sa znatnom varijacijom u veličini zrna. Dekompozicijom, tj. oksidacijom stanina, najverovatnije pod dejstvom površinske alteracije, halkopirit može da pokaže mirmekitska prorastanja i sa kasiteritom. Stanin ređe formira teksturu ritmičke precipitacije sa sfaleritom, koja je najverovatnije obrazovana na nižim temperaturama.



Slika 71. Stanin (Stn) pokazuje karakterističnu maslinastosivu boju i jasnu anizotropiju, a javlja se u asocijaciji sa halkopiritom (Cp), piritom (Py, zapaziti viši reljef) i sfaleritom (Sp, zapaziti crvene unutrašnje refleksije) (vazduh, A – //N, B – xN, širina mikrografija ~1 mm). Preparat 3A, studentska zbirka – F6.

Postanak i asocijacija. Nastaje uglavnom pneumatolitsko- i visokotemperaturno hidrotermalno u kalajnosnim ležištima. Javlja se u asocijaciji sa kasiteritom, tetraedritom, halkopiritom, sfaleritom, piritom, volframitom i drugim mineralima.

Dijagnostičke osobine. Pouzdano se i relativno lako prepoznaje, prvenstveno po maslinastoj nijansi u boji koja je karakteristična samo za ovaj mineral.

11.6 ŠELIT, CaWO_4 (tetragonalno)

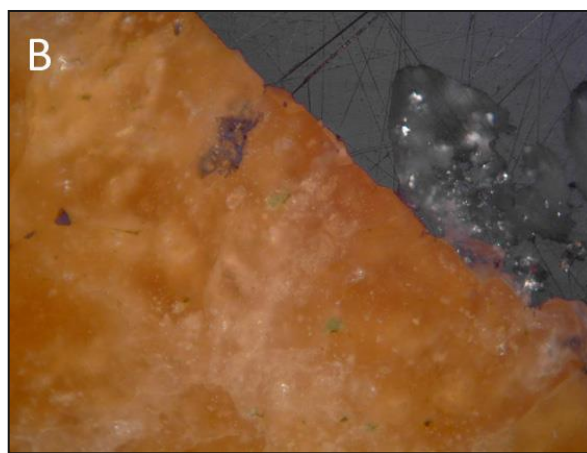
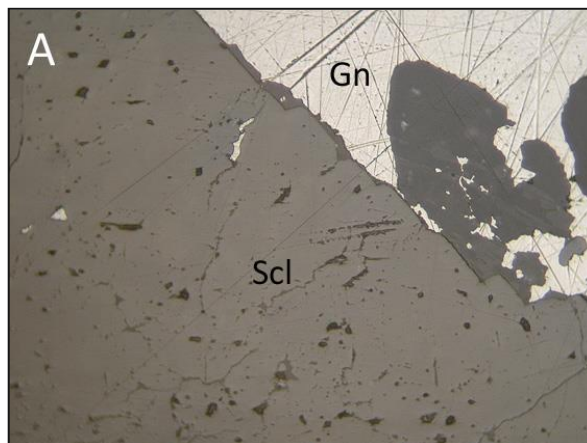
OPTIČKA SVOJSTVA I RELJEF (Slika 72)	
Boja	Siva boja.
R%	Niska refleksija (R 10%), slična jalovini.
A/I	Slaba do jasna anizotropija, ali uvek maskirana unutrašnjim refleksima.
U.R.	Intenzivni, bezbojni do beli, žutomrki, mrkozeleni i drugih boja koje zavise od idiohromatske boje šelita.
Tv.	Srednji do visok reljef (tv. 4.5-5).

Makroskopski: može biti različitih boja (bezbojan do beo, žutomrk, mrkozelen i dr.), belog ogreba, prozračan, staklastog sjaja, fluorescentan pod UV lampom od 254 nm u plavoj boji (ređe žutoj od Mo primesa) pomoću koje se i detektuje.

Hemizam. Volfram je ponekad izomorfno zamenjen molibdenom, pri čemu šelit može da obrazuje čvrste rastvore sa mineralom *povelitom*, CaMoO_4 koji se u prirodi znatno ređe javlja. Šelit može da sadrži primese elemenata retkih zemalja koje se javljaju na mesto kalcijuma u strukturi minerala.

Forma. Ređe pokazuje euhedralne forme i uglavnom se javlja u zrnastim i masivnim agregatima. Ponekad obrazuje teksture zamenjivanja sa volframitom koje mogu da se razviju u oba pravca.

Postanak i asocijacija. Šelit nastaje u opsegu od grajzenskog, pegmatitskog do visokotemperaturno hidrotermalnog stadijuma. Pritom, često je obrazovan i kontaktno-metasomatskim procesima visokotemperaturnih fluida sa okolnim krečnjacima, usled čega je prisutan i u skarnovima. Obično se javlja u asocijaciji sa molibdenitom, kasiteriom, volframitom, Bi mineralima, sulfidima (pirit, arsenopirit i dr.), kontaktno-metamorfnim silikatima, ponekad zlatom i drugim mineralima. Koncentriše se u nanosima.



Slika 72. Šelit (Scl) u asocijaciji sa galenitom (Gn). U odnosu na jalovinu (tamno sivo), pokazuje nešto višu refleksiju, ali i bojene efekte unutrašnjih refleksa koji mogu biti od pomoći u njegovoj determinaciji (vazduh, A – //N, B – xN, širina mikrografija ~1 mm). Preparat 1650, studentska zbirka – F6.

Dijagnostičke osobine. Teže se prepoznaje zbog prilično niske refleksije i sličnosti sa mineralima jalovine, usled čega se prisustvo šelita u uzorku često previdi rudnomikroskopskim ispitivanjem. Ponekad unutrašnji refleksi mogu biti od pomoći u njegovom prepoznavanju, ali ipak, za njegovu pouzdanu determinaciju treba koristiti UV lampu (šelitska lampa).

11.7 VOLFRAMIT, (Fe,Mn)WO₄ (monok.)

OPTIČKA SVOJSTVA I RELJEF (Slika 73)	
Boja	Svetlosiv sa slabom mrkom primesom.
R%	Niska refleksija (R 17%).
A/I	Jasna anizotropija (plavičast, siv).
U.R.	Bez unutrašnjih refleksa ili slabi refleks, u ulju jasni (tamni mrkocrveni), naročito kod članova serije bogatijim manganom.
Tv.	Visok reljef (tv. 4-5).

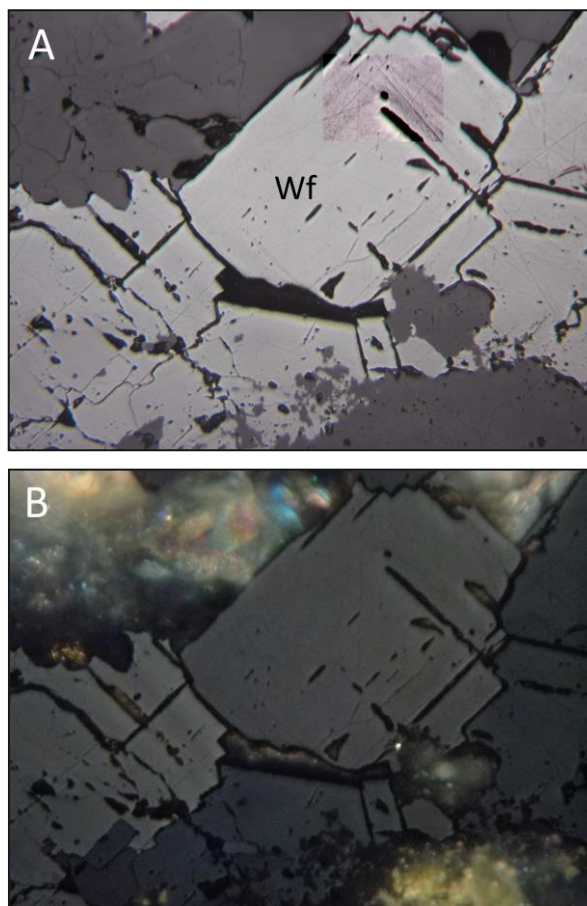
Makroskopski: mrkocrne boje, mrkog ogreba, neprovidan (mada ne u potpunosti), polumetaličan.

Hemizam. Volframit prema novijim klasifikacijama zapravo ne predstavlja mineral, već intermedijarni član izomorfne serije minerala *ferberita*, FeWO₄ i *hibnerita*, MnWO₄. U ovoj seriji Fe:Mn odnos može da varira u svim proporcijama. Volframit obično sadrži Ca, Mg, Zn, Nb, Ta, Sn i druge primese. Pritom, cink može i da preovladava na mesto dvovalentnog katjona kada se u prirodi javlja ređi mineral *sanmartinit*, (Zn,Fe)WO₄.

Forma. Često pokazuje euhedralne forme i javlja se u prizmatičnim do debelopločastim kristalima (spljoštenim po 100), a ponekad pokazuje izdužene do pritkaste forme. Takođe se javlja i u zrnastim i masivnim agregatima, a kao izuzetak, obrazuje agregate nalik gelskim formama koji su obrazovani u niskotemperaturno hidrotermalnom stadijumu.

Kao i druge izomorfne serije minerala, tako je i volframit često zonaran. Jedan od karakterističnih tipova zonarnosti koju ovaj mineral pokazuje je oscilatorna zonarnost (sl. 73). Ona podrazumeva naizmenično smenjivanje Mn- i Fe-obogaćenih zone rasta kristala. U nekim slučajevima, zonarnost ovog minerala može da ukaže na promenu forme kristala tokom njegovog rasta. Volframit ponekad pokazuje i bližnjenje.

Ovaj mineral obrazuje tekture zamenjivanja sa šelitom u oba pravca, a varijetet *reinit* predstavlja karakterističnu pseudomorfozu *ferberita* po šelitu.



Slika 73. Volframit (Wf) pokazuje nisku refleksiju, svetlosivu boju sa mrkom primesom, jasnu anizotropiju i prizmatičnu formu. Umetak na slici A predstavlja deo mikrografije na kojem je povećana kontrast kako bi se istakla oscilatorna zonarnost ovog minerala (Pačevski *et al.* 2007) (vazduh, A – //N, B – xN, širina mikrografija ~0.8 mm). Preparat 459 (Sb-W rudne pojave Osanica), studentska zbirka – F6.

Postanak i asocijacija. Nastaje uglavnom u opsegu od grajzenskog, pegmatitskog do pneumatolitskog stadijuma, gde se često javlja u asocijaciji sa kasiteritom. Zatim, prisutan je u visokotemperaturnim kvarcnim žicama. U hidrotermalnom stadijumu može se naći u intruzivnim zlatonosnim žicama, kao i u asocijaciji sa sulfidima (stanin, arsenopirit i dr.). Ređe se javlja na nižim temperaturama. Koncentriše se u nanosima, mada nije sasvim rezistentan i ne nalazi se na većoj udaljenosti od korenih nalazišta.

Dijagnostičke osobine. Može donekle da bude sličan sa pojedinim oksidima, ali se ipak pouzdano identifikuje.

11.8 MOLIBDENIT, MoS_2 (heksagonalno)

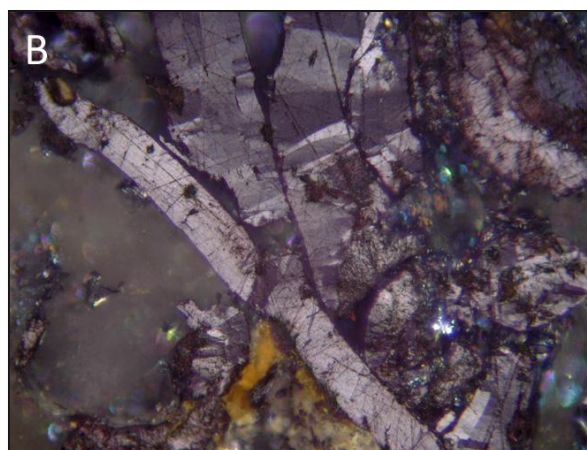
OPTIČKA SVOJSTVA I RELJEF (Slika 74)	
Boja	Siv do beo sa slabom ružičastom primesom; veoma jak pleohroizam.
R%	Niska do srednja refleksija (R 15-37 %), jaka birefleksija.
A/I	Veoma jaka anizotropija (beo, ružičastosiv, zelenkastosiv, talasasto potamnjenje).
U.R.	Bez unutrašnjih refleksa.
Tv.	Veoma nizak reljef (tv. 1-1.5), teško se polira ("razmazuje se"), naročito kada je u asocijaciji sa kvarcom.

Makroskopski: sive boje, sivog ogreba sa maslinastom primesom, metaličan, neprovidan, veoma mekan.

Hemizam. Molibdenit se karakteriše pojavom politipizma, odnosno kristališe u različitim prostornim grupama (različiti politipovi). Ovaj mineral veoma često sadrži primese renijuma (obično do 2 mas.% Re, ređe i znatno viši sadržaji) koje mogu da imaju i ekonomski značaj, s obzirom da se renijum uglavnom dobija iz koncentrata molibdenita. Takođe, postoji i mineral *renijit*, ReS_2 , koji inače spada u veoma retke minerale u prirodi.

Bez obzira na čestu asocijaciju sa W mineralima i činjenice da postoji i izomorfni mineral *tungstenit*, WS_2 (redak mineral), molibdenit veoma retko ili, može se reći, gotovo nikada ne sadrži W primese.

Forma. Uglavnom se javlja u listastim (do tabličastim) agregatima koji pokazuju savršenu cepljivost po (0001), pri čemu su liske često povijene. Često se javlja i u vidu tankih kora do skrma po površini ili pukotinama u uzorku, kada njegovo prisustvo makroskopski lako može biti previđeno. U ovakvim slučajevima je njegova rudnomikroskopska determinacija naročito značajna. Ređe se javlja u karakterističnim globularnim formama radijalnih agregata koje su verovatno gelskog porekla nastale na niskim temperaturama. Inače, postoji i amorfni *jordisit*, MoS_2 (mineraloid) koji nastaje niskotemperaturno hidrotermalno.



Slika 74. Molibdenit (Mlb) pokazuje veoma upečatljive optičke karakteristike (boju, pleohroizam, birefleksiju i anizotropiju), kao i karakterističnu listastu formu agregata (vazduh, A – //N, B – xN, širina mikrografija ~1 mm). Preparat 1, studentska zbirka – F6.

Postanak i asocijacija. Nastaje uglavnom u opsegu od pegmatitskog, pneumatolitskog do visokotemp. hidrotermalnog stadijuma, kada obrazuje i značajnija ležišta. U porfirskim ležištima bakra je često prisutan u manjim količinama. Međutim, u nekim ležištima porfirskog tipa može se javiti i u ekonomski značajnim koncentracijama. Ređe se može naći još u pojedinim pentlandit-pirotinskim diferencijatima, zatim, u srednje-do niskotemperaturnim hidrotermalnim ležištima, klastičnim sedimentima i nanosima, a može nastati i eshalativno.

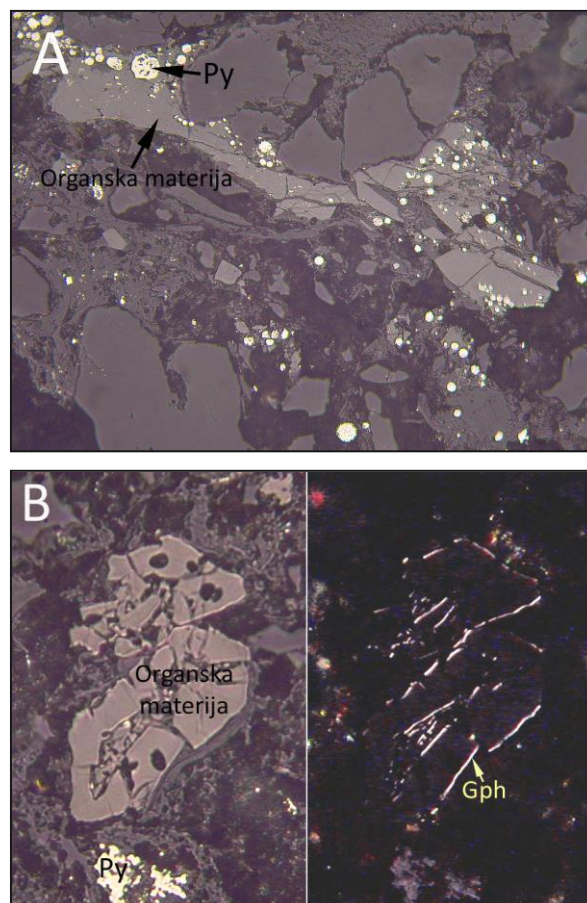
Dijagnostičke osobine. Na osnovu veoma upečatljivih optičkih osobina, tvrdine i forme, molibdenit se lako razlikuje od svih ostalih minerala, izuzev od grafita (str. 158).

15. Ostali minerali i druga jedinjenja

Pored navedenih minerala u prethodnim poglavljima, postoje i pojedini neprovidni do prozirani *minerali specifičnog sastava*, koji pokazuju jasne optičke osobine u odbijenoj svetlosti, zbog čega su predmet rudnomikroskopskih ispitivanja, ali se ne mogu uvrstiti u postojeću podelu rudnih minerala prema sastavu, odnosno vodećim metalima. Na primer, sorosilikat ilvait (pog. 15.1), mineral sa veoma izrazitim optičkim svojstvima u odbijenoj svetlosti, tipičan je predstavnik ovakvih minerala. Zatim, treba pomenuti i borat *ludvigit*, Mg_2FeBO_5 , tipičan kontaktno-metamorfni mineral kao i prethodni, koji je makroskopski neprovidan i crne boje, karakterističnih prtkastih do igličastih formi, a takođe pokazuje dobro definisana optička svojstva u odbijenoj svetlosti. Ovakvi minerali mogu ponekad da se jave i u većim količinama, međutim, ne spadaju u rudne minerale, odnosno ne obrazuju rudna ležišta.

U odbijenoj svetlosti se vrše i ispitivanja grafita (pog. 15.2), što se i podrazumeva, s obzirom da se radi o neprovidnom metaličnom mineralu, ali takođe i organske materije i ugljeva. Kako se posebna naučna disciplina bavi ispitivanjima ovih tvorevina, ovde će biti kratko opisane samo osnovne karakteristike organske materije, bez detaljnijih podela. *Organska do ugljevita materija* može biti amorfna ili u različitom stepenu rekristalisala prema grafitu, sa kojim može i da se javi u asocijaciji. Boje je tamnosive do svetlosive (sl. 91A), ponekad sa mrkom primesom (sl. 91B). Izotropna, ali u zavisnosti od stepena rekristalizacije može da pokaže slabu do jasnu anizotropiju sa talasastim pomračenjem. Refleksija znatno varira, od veoma niske do niske, čak i srednje (R do 20%). Prisustvo organske materije u ispitivanju rudnih ležišta i procesa mineralizacija može da ukaže na sedimentno poreklo hidrotermalno

alterisane stene, što je naročito značajno kod intenzivnih alteracija kada se ne može prepoznati prvobitna stena, odnosno sredina deponovanja orudnjenja.



Slika 91. Organska materija pokazuje nisku do srednju refleksiju i sivu (A) ili sivobraon boju (B). Na slici A, javlja se u karakterističnoj asocijaciji sa framboidalnim piritom (Py). Na slici B, po obodu organske materije javlja se tanak rub grafita (Gph) koji se jasno zapaža pod ukrštenim nikolima (desno) usled jake anizotropije (videti grafit, str. 158) (vazduh; A, B (levo) //N, B (desno) xN; širina mikrografija: A – ~1 mm, B – ~0.5 mm). Preparati: A – 085-68, B – 133-69.9, studentska zbirka – F10.

Poznato je da rudnomikroskopskim ispitivanjem ne mogu biti obuhvaćeni minerali pratioci ruda (silikati, karbonati, sulfati, pojedini oksidi i dr.) i iz tog razloga se oni nazivaju *minerali jalovine*. Jedino što je

moguće pouzdano prepoznati u jalovini jeste prisustvo karbonata (karbonatna jalovina) na osnovu njihove birefleksije (videti kalcit, sl. 57B, str. 101) . Međutim, na osnovu forme i reljefa minerala jalovine, moguće je često prepoznati ili najmanje pretpostaviti koji je mineral u pitanju. Tako na primer, kvarc pokazuje veoma visok reljef (tv. 7) i često karakteristične euhedralne forme; barit pločastu formu agregata, gips tabličastu formu, savršenu cepljivost i nizak reljef; fenokristali feldspata i amfibola karakteristične forme, različiti stepen alteracije, amfiboli često i bazne preseke sa karakterističnim uglom od 124° i savršenom cepljivošću; liskuni karakterističnu listastu formu i savršenu cepljivost; granati izometrične forme, veoma visok reljef, a kada su kontaktno-metamorfno porekla

često i zonarnost, itd. Na taj način, iskusniji istraživači vremenom savladavaju čak i prepoznavanje minerala jalovine, u pojedinim slučajevima i vrste stena (npr, vulkanske stene na osnovu odnosa fenokristala i osnovne mase, bez prepoznavanja minerala). i druga slična opažanja, što se, naravno ne očekuje i od studenata. Ponekad je u rudnom mikroskopu pri ukrštenim nikolima moguće opaziti čak i fluidne inkluzije (uglavnom u kvarcu).

Na kraju, rudna mikroskopija se primenjuje i u praćenju procesa prerade mineralnih sirovina i u ispitivanjima koncentrata rudnih minerala, zatim, u ispitivanjima meteorita (naročito gvožđevitih), šljaka i drugih metalurških i industrijskih produkata, itd.

15.1 ILVAIT, $\text{CaFe}^{2+}_2\text{Fe}^{3+}\text{Si}_2\text{O}_7\text{O}(\text{OH})$ (rombično ili monoklinično)

OPTIČKA SVOJSTVA I RELJEF (Slika 92)	
Boja	Svetlo sivoružičasta do tamno jorgovan plave boje, jak pleohroizam.
R%	Veoma niska do niska refleksija (R 7-10%), jasna birefleksija.
A/I	Jaka anizotropija u izrazitim narandžastocrvenim i zelenkasto- do plavičastosivim bojama.
U.R.	Mrkocrveni refleksi vidljivi u ulju.
Tv.	Visok reljef (tv. 5.5-6).

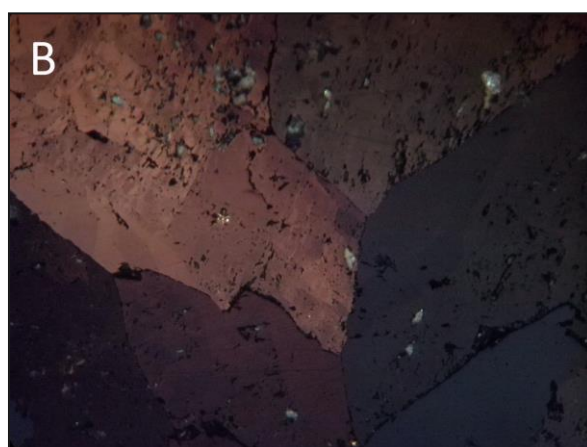
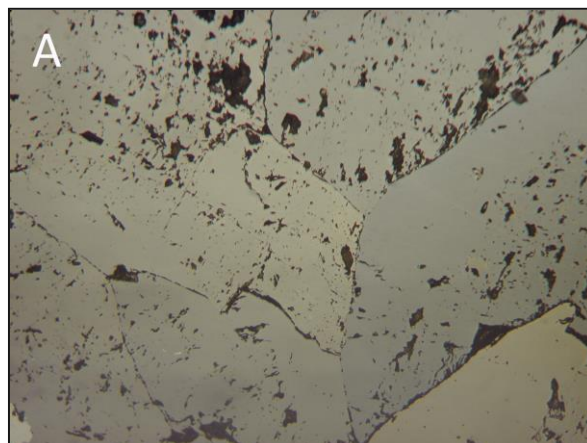
Makroskopski: crne boje, crnog ogreba sa slabom zelenom ili braon nijansom, polumetalčan, neprovidan, u tankim presecima prozračan (takođe izrazite optičke osobine u propuštenoj svetlosti). Pokazuje crtaste pljosni.

Hemizam. Često sadrži primese mangana koji izomorfno zamenjuje gvožđe. Ovaj metal može da bude prisutan i u većoj meri kada se javlja mineral *manganoilvait*, $\text{Ca}(\text{Fe},\text{Mn})^{2+}_2\text{Fe}^{3+}\text{Si}_2\text{O}_7\text{O}(\text{OH})$. Ilvait ponekad sadrži i Mg primese.

Forma. Uglavnom obrazuje prizmatične forme kristala i agregata. Javlja se i u masivnim i stubičastim agregatima koji su ponekad i radijalno zrakasti.

Često pokazuje zonarnost koja može biti izražena u većoj ili manjoj meri, pri čemu se bolje zapaža nakon nargizanja. Bliženje je retko prisutno. U pojedinim slučajevima može da bude zahvaćen površinskom alteracijom, kada samo po obodnim delovima i pukotinama biva zamenjen limonitom (početna alteracija.)

Postanak i asocijacija. Tipičan je kontaktno-metamorfni mineral i uglavnom se javlja u skarnovima i kontaktno-metasomatskim do hidrotermalnim Pb-Zn i polimetalničnim



Slika 92. Ilvait (celo vidno polje) pokazuje izrazita optička svojstva – boju, pleohroizam i anizotropiju (vazduh, A – //N, B – xN, širina mikrografija ~1 mm). Preparat Ilvait-Grot (Pb-Zn ležište Grot, južna Srbija), stud. zbirka – F10.

ležištima (asocijacija: magnetit, hedenbergit, sfalerit, itd). Može se javiti i u nekim metamorfisanim Fe ležištima u asocijaciji sa magnetitom i drugim Fe mineralima.

Dijagnostičke osobine. Veoma se lako i pozdano prepoznaje po jedinstvenim optičkim osobinama, tj. po upečatljivim bojama pleohroizma i anizotropije, u kombinaciji sa prilično niskom refleksijom (“rudna jalovina”).

15.2 GRAFIT, C (heksagonalno)

OPTIČKA SVOJSTVA I RELJEF (Slika 93)	
Boja	Svetlo mrkosiva do siva; veoma jak pleohroizam.
R%	Veoma niska do srednja refleksija (R 6-26%), veoma jaka birefleksija.
A/I	Jaka anizotropija (svetložuta, siva).
U.R.	Bez unutrašnjih refleksa.
Tv.	Nizak reljef (tv. 1-2), teže se polira.

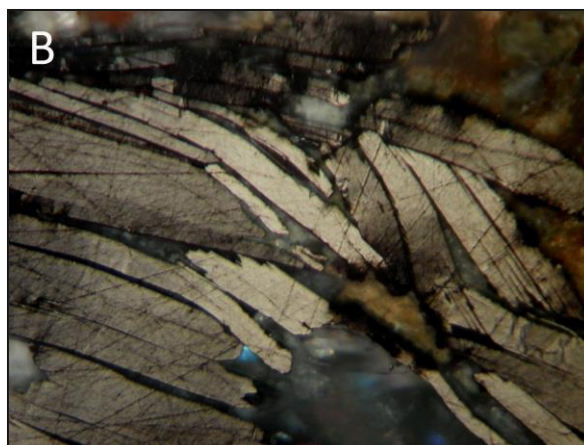
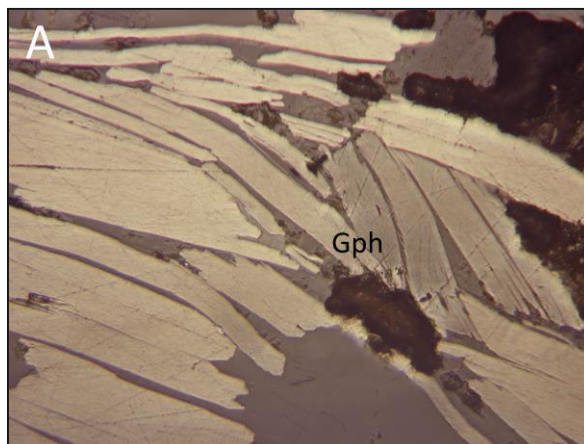
Makroskopski: sivocrne boje, sivog ogreba, metaličan, neprovidan, prozračan u veoma tankim liskama kada pokazuje tamno plavu boju (takođe i u propuštenoj svetlosti).

Hemizam. Može da sadrži razne primese u zavisnosti od načina postanka.

Forma. Najčešće se javlja u tabličastim do listastim agregatima koji pokazuju savršenu cepljivost po bazi. Ove karakteristične forme grafita osetljive su na deformacije, usled čega su liske često povijene (sl. 93). Može da obrazuje i individualna tabličasta zrna. U izvesnim slučajevima, javlja se i u drugim specifičnim formama koje su obično u vezi sa načinom postanka ovog minerala. Tako na primer, može da se javi u agregatima koji liče na palmin list (u pojedinim meteoritima i kontaktno-metamorfnim tvorevinama), ili da obrazuje sferične agregate sa radialnim i snopičastim rasporedom liski (Ti-Fe diferencijati).

Veoma retko obrazuje teksture zamenjivanja sa drugim mineralima. Međutim, može da zamenjuje organsku materiju (sl. 91B) u manjoj ili većoj meri u zavisnosti od stepena metamorfizma.

Postanak i asocijacija. Prilično je redak u rudnim ležištima. Najznačajnije pojave grafita obrazovane su regionalno metamorfnim procesima, devolatilizacijom odnosno karbonifikacijom organske materije iz sedimentnih stena. U ovakvim sredinama može da se javi i u većim količinama, a takođe i da obrazuje ležišta grafitičnih škriljaca. Relativno često nastaje i kontaktnim metamorfizmom sedimenata.



Slika 93. Grafit (Gph) pokazuje veoma izrazite optičke osobine (boja, pleohroizam, birefleksija, anizotropija), a takođe i karakterističnu listastu formu i savršenu cepljivost (vazduh, A – //N, B – xN, širina mikrofografija ~1 mm). Preparat, 331/35.6, studentska zbirka – F10.

Međutim, nastaje i magmatski i može biti prisutan u kimberlitima (u paragenezi sa dijamentom), dunitima, titanomagnetitskim diferencijatima gabrova, Ni-pirotinima, ali i u kiselijim diferencijatima i pegmatitsko-pneumatolitskim paragenezama. Prisutan je i u meteoritima.

Dijagnostičke osobine. Veoma se lako prepoznaje na osnovu upečatljivih optičkih osobina i karakteristične forme. Ipak, i pored tako izrazitih osobina, donekle je sličan molibdenitu, od kojeg se razlikuje po nijansi boje i boji anizotropije. Grafit pokazuje svetlomrku nijansu u boji i žutu nijansu u anizotropiji, dok molibdenit pokazuje ružičastu nijansu kako u boji tako i u anizotropiji.

LITERATURA

Osnovna literatura (prema značaju)

Ramdohr, P. (1980): The ore minerals and their intergrowths. Pergamon press (2nd ed.), 1205 str, u dva toma. (Prvo izdanje 1969).

Craig, J.R. & Vaughan, D..J. (1994): Ore Microscopy and Ore Petrography. John Wiley & Sons (2nd ed.), 434 str. (Prvo izdanje 1981).

Anthony, J.W, Bideaux, R.A, Bladh, K.W, & Nichols, M.C, (Eds): Handbook of Mineralogy, Mineralogical Society of America, Chantilly, VA 20151-1110, USA.

<http://www.handbookofmineralogy.org/>.

Spry, P.G. & Gedlinske, B.L. (1987): Tables for the determination of common opaque minerals. Economic Geology Publishing Company, 52 str.

Cvetković, Lj. (1995): Uvod u rudnu mikroskopiju. Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 31 str. (skripta).

Zarić, P. (1980): Laboratorijske metode ispitivanja mineralnih sirovina. I deo: rudnomikroskopska ispitivanja metaličnih mineralnih sirovina. Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 48 str. (skripta).

Ostala literatura (prema abecedi)

Atkin, B.P. & Harvey, P.K. (1979): The use of quantitative color values for opaque mineral identification. *Canadian Mineralogist* 17, 639-647.

Babić, D. (2003): Mineralogija. Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 433 str.

Buddington, A.F. & Lindsley, D.H. (1964): Iron-titanium oxide minerals and synthetic equivalents. *Journal of Petrology* 5, 310-357.

Burns, R.G. & Vaughan, D.J. (1970): Interpretation of the reflectivity behavior of ore minerals, *American Mineralogist* 55, 1576-1586.

Butler, I.B. & Rickard, D. (2000): Framboidal pyrite formation via the oxidation of iron (II)

monosulfide by hydrogen sulphide. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 64, 2665-2672.

Cissarc, A. (1950): Uputstvo za upotrebu rudnog mikroskopa. Izdavačko-štamparsko preduzeće Saveta za energetiku i ekstraktivnu industriju vlade FNRJ – Beograd, 115 str.

Cvetković, Lj., Boronikhin, V.A., Pavićević, M.K., Krajnović, D., Gržetić, I., Libowitzky, E., Giester, G., Tillmans, E. (1995): Jankovičite, $Tl_5Sb_9(As,Sb)_4S_{22}$, a new Tl-sulfosalt from Allchar, Macedonia. *Mineralogy and Petrology* 53, 125-131.

Cvetković, Lj., Krajnović, D., Zrnić, B., Obradović, Lj. (1999): Volframski germanit iz ležišta bakra Bor – novi član familije kolusita. Godišnjak JAM - Mineralogija, god. II, br. 2: 136-138, Beograd.

Cvetković, Lj., Pačevski, A. & Tončić, T. (2013): Occurrence of Sn-bearing colusite in the ore-body "T" of the Bor copper deposit, Serbia. *Geology of Ore Deposits*, 55: 298-304.

Davy, W.M. & Farnham, C.M. (1920): Microscopic examination of the ore minerals. New York, 154 str.

Embrey, P.G. & Criddle, A.J. (1978): Error problems in the two-media method of deriving the optical constants n and k from measured reflectances. *American Mineralogist* 62, 853-862.

Galopin, R. & Henry, N.F.M. (1972): Microscopic study of Opaque Minerals. McCrone Research Associates, London, 332 str.

Htein, W. & Phillips, R. (1973). Quantitative specification of the colours of opaque minerals. *Mineral. Mater. News Bull. Quant. Microsc. Methods* I, pp. 2-3; 2, 5-8.

Jelenković, R. (1999): Ležišta metaličnih mineralnih sirovina. Rudarsko geološki fakultet, Beograd, 430 str.

Libowitzky, E. (1994): Anisotropic pyrite: A polishing effect. *Physics and Chemistry of Minerals* 21, 97-103.

- Murdoch, J. (1916): Microscopic determination of the opaque minerals. New York, 165 str.
- Pačevski, A. (2002): Mineraloško-kristalografske i paragenetske karakteristike arsenopirita iz predela Gokčanice (pl. Željina). Diplomski rad, Univerzitet u Beogradu – Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 40 str.
- Pačevski, A. (2005): Mineralne parageneze rudnih pojava antimona i volframa u predelu Osanice (istočna Srbija). Magistarska teza, Univerzitet u Beogradu – Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 64 str.
- Pačevski, A. (2009): Mineralne parageneze polimetalnog ležišta Čoka Marin. Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu – Rudarsko-geološki fakultet, Beograd, 95 str. + dodaci.
- Pačevski, A., Götzinger, M., Dimitrijević, R. & Cvetković, Lj. (2007): Oscillatory zoning in wolframite from Osanica, near Bor, Serbia. *Neues Jahrbuch für Mineralogie - Abhandlungen* 184, 151-160.
- Pačevski, A., Libowitzky, E., Živković, P., Dimitrijević, R. & Cvetković, Lj. (2008): Copper-bearing pyrite from the Čoka Marin polymetallic deposit, Serbia: Mineral inclusions or true solid-solution? *Canadian Mineralogist* 46, 249-261.
- Pačevski, A., Moritz, R., Kouzmanov, K., Marquardt, K., Živković, P. & Cvetković, Lj. (2012): Texture and composition of Pb-bearing pyrite from the Čoka Marin polymetallic deposit, Serbia, controlled by nanoscale inclusions. *Canadian Mineralogist* 50, 1-20.
- Pačevski, A., Cvetković, V., Šarić, K., Banješević, M., Hofer, H.E. & Kremenović, A. (2016): Manganese mineralization in andesites of Brestovačka Banja, Serbia: evidence of sea-floor exhalations in the Timok Magmatic Complex. *Mineralogy and Petrology* 110, 491-502.
- Piller, H. (1966): Color measurements in ore microscopy. *Mineralium Deposita* 1, 175-192.
- Pracejus, B., ed.) (2008): The ore minerals under the microscope, an optical guide. Atlases in Geoscience 3, Elsevier, Amsterdam, 875 str.
- Radosavljević, S. & Dimitrijević, R. (2001): Mineralogical data and paragenetic association for semseyite from Srebrenica orefield, Bosnia and Herzegovina. *Neues Jahrbuch für Mineralogie - Monatshefte* 4, 145-156.
- Radosavljević, S., Stojanović, J. & Radosavljević-Mihajlović, A. (2013): Metallogenic District, Serbia: Zonality, Mineral Associations and Genetic Features. *Periodico di Mineralogia* 82, 61-87.
- Radosavljević, S., Stojanović, J., Pačevski, A., Radosavljević-Mihajlović, A. & Kašić, V. (2016): A review of Pb-Sb(As)-S, Cu(Ag)-Fe(Zn)-Sb(As)-S, Ag(Pb)-Bi(Sb)-S and Pb-Bi-S(Te) sulfosalt systems from the Boranja orefield, West Serbia. *Geološki anali Balkanskoga poluostrva* 77, 1-12.
- Radusinović, S., Jelenković, R., Pačevski, A., Simić, V., Božović, D., Holclajtner-Antunović, I., Životić, D. (2017): Content and mode of occurrences of rare earth elements in the Zagrad karstic bauxite deposit (Nikšić area, Montenegro). *Ore Geology Reviews* 80, 406-428.
- Short, M.N. (1940): Microscopic determination of the ore minerals. U.S. Geol. Surv. Bull. 825, (2nd ed.), 314 str.
- Squair, H. (1965): A reflectometric method for determining the silver content of natural gold alloys. *Trans. Inst. Min. Metall.* 74, 917-931.
- Tarkian, M. & Bernhardt, H. (1984): A key-diagram for the optical determination of platinum-group minerals. *Mineralogy and Petrology* 33, 121-129.
- Tomanec, R. i Vakanjac, B. (2015). Rudne parageneze sa metodama ispitivanja i atlasom karakterističnih primera. Fakultet za primenjenu ekologiju "Futura", Univerzitet "Singidunum", Beograd, 357 str.
- Vaughan, D.J. & Craig, J.R. (1978). Mineral Chemistry of Metal Sulfides. Cambridge University Press, Cambridge, England, 493 str.
- Young, B.B. & Millman, A.P. (1964): Microhardness and deformation characteristics of ore minerals. *Trans. Inst. Min. Metall.* 73, 437-466.

INDEKS MINERALA

(i varijeteta - *italic*)

A

Akaganeit, 65
 Alabandin, 154
 Alakranit, 135
 Alargentum, 114
Alemontit, 134
 Algodonit, 90
 Altait, 101, 103
Amalgam, 131
 Anabergit, 143
 Anatas, 69, 5, 64, 65
 Anaupigment, 136
 Anglezit, 108
 Anilit, 85, 14
Anivit, 87
 Antimon, 133, 134
 Antimonit, 132
 Ajkinit, 106
 Akantit, 115
 Aktenskit, 152
 Argentopentlandit, 140
 Argentit, 115
Arit, 143
 Arsen, 134
 Arsenolamprit, 134
 Arsenolit, 131
 Arsenopirit, 61
 Arsenosulvanit, 97
 Atakamit, 96
 Aurikuprid, 110
 Auripigment, 136
 Avaruit, 90, 118
 Azurit, 96

B

Bakar, 90
 Bertijerit, 133
 Biksbrit, 153
 Bizmit, 120
 Bizmut, 120
 Bizmutinit, 121
 Bizmutit, 120
 Boleit, 96
 Bonacit, 135
 Bornit, 83
 Brajthauptit, 144
 Braunit, 153
Bravoit, 141, 55
 Brošantit, 96
 Brukit, 64, 65
 Bulanžerit, 104
 Burnonit, 106

C

Cejlonit, 79

Ceruzit, 108
 Cinabarit, 137
 Cinkenit, 104
 Cinkit, 107

D

Danait, 61
 Delafosit, 98
 Digenit, 86, 94
 Dimorfit, 135
 Diskrasit, 117, 114
 Domejkit, 90

Dž

Džarkenit, 55
 Džemsonit, 104

Đ

Đurleit, 85, 14

E

Elektrum, 110, 4
 Enargit, 88, 89
 Eskolait, 19, 66
 Eugenit, 114

F

Famatinit, 89
 Ferberit, 127
 Ferokolumbit, 129
 Feroksit, 65
 Ferotantalit, 129
 Ferotapiolit, 129
Frajbergit, 87
 Franklinit, 79
 Fukučilit, 55

G

Galaksit, 79
 Galenit, 101, 18, 33
 Galenobizmutit, 105
 Ganit, 79
 Gejkilit, 71, 46, 64
 Germanit, 97
 Germanokoluzit, 94
 Gerzdorfit, 147
 Geokronit, 105
 Getit, 76
Glaukodot, 61
 Goldfildit, 87
 Grafit, 158
 Gratonit, 105
 Greigit, 63
 Grinokit, 100
 Gudmondit, 63

H

Halkofanit, 153
 Halkopirit, 82, 33, 36, 37, 100, ...

Halkotrihit, 91
Halkopirotin, 59, 93
 Halkozin, 85, 83
 Hausmanit, 153
 Hematit, 70, 68-71, 36
 Hemimorfit, 99
 Hercinit, 79
 Hesit, 113, 3
 Hibnerit, 127
Hidrogetit, 65
 Hidrocinkit, 99
Hidrohematit, 65
 Hipercinabarit, 137
 Hizlevudit, 148, 90
 Holandit, 154
 Hromit, 66, 79
Hromspinel, 79

I

Idait, 95
 Ilmenit, 71-70, 36, 46
 Ilvait, 157, 155
 Izoferoplatina, 118
 Iridosmin, 118
 Itrokolumbit, 129
 Itrotantalit, 129

J

Jakobsit, 79
 Jankovičit, 138
 Jordanit, 105
Jordisit, 128

K

Kalaverit, 112
Kalilit, 148
 Karolit, 149
 Kalcit, 18, 101
 Karolit, 149, 3
 Kasiterit, 124
 Katijerit, 141, 55
 Kermežit, 133
Kjustelit, 114
 Klaustalit, 101
Kloantit, 149
 Klodetit, 131
 Kobaltin, 146
 Kobaltopentlandit, 140
 Koloradoit, 137
Kolumbit, 129, 123
 Koluzit, 94
Kongsbergit, 114
 Koronadit, 154
 Korund, 64, 71, 72
 Kostovit, 113
 Kovelin, 84-87, 56, 94
 Kozalit, 105
 Krenerit, 112

- Kriptomelan, 154
 Krutovit, 148
Ksantosiderit, 64
 Ksenotim, 119
 Kubanit, 93
 Kuprit, 91, 92, 96
- L
- Lazarevićit*, 97
 Lelingit, 62
 Lepidokrokot, 77, 69
Leukoksen, 72
Limonit, 78, 36, 65
 Linarit, 96
 Lineit, 149
 Livingstonit, 131
 Lorandit, 138
 Ludvigit, 155
 Luzonit, 89, 37, 106
- M
- Maghemit, 79
 Magnetit, 67-69, 71-73, 36, 37
 Magnezioferit, 79
 Makinavit, 63
 Malahit, 96
 Maldonit, 110
 Manganit, 153
 Manganoilvait, 157
 Manganokolumbit, 129
 Manganotantalit, 129
 Manganotapiolit, 129
 Markasit, 58
Martit, 68
 Matildit, 116, 102
 Mauherit, 148
 Mausonit, 97
 Melanterit, 14
Meljnikovit, 56
 Meneginit, 105, 103
 Merenskit, 109
Metaantimonit, 132
 Metacinabarit, 137
 Miargirit, 116
 Milerit, 142
 Mimetit, 102
 Molibdenit, 128
 Monacit, 119
 Mošelandzbergit, 114
Mušketovit, 68
- N
- Nađagit, 113
Nasturan, 130
 Nekrasovit, 94
Nigrin, 74
 Nikelin, 143
 Niklskuterudit, 149
 Nukundamit, 95
- O
- Ovamboit, 97
- P
- Paradokrasit, 134
 Paramelakonit, 92
 Pararamelsbergit, 148
 Pararealgar, 135
 Pecit, 113
Pehblenda, 130
 Pentlandit, 140, 36
Pikotit, 79
 Pirargirit, 116
 Pirit, 55, 4, 5, 33, 37
 Pirofanit, 71, 64, 69
 Piromorfit, 102
 Pirotin, 59, 36, 46, 93
 Piroluzit, 152
 Pirseit, 116
 Platina, 118, 46
Pleonast, 79
Plumozit, 104
 Polibazit, 116
 Polidimit, 150
Poliksen, 118
 Povelit, 126
 Prustit, 116
 Pseudobrukit, 65
Psilomelan, 151
- R
- Rakićit*, 97
 Ramelsbergit, 145
 Ramzdelit, 152
 Realgar, 135
Reinit, 127
 Renijerit, 97
 Renijit, 128
 Rodohrozit, 154
 Ruteniridosmin, 118
 Rutil, 74, 5, 65, 69, 70-73
- S
- Saflorit, 145
Sakarambit, 113
 Sanmartinit, 127
 Semsejit, 104
 Senarmontit, 133
 Sfalorit, 100, 106, 18, 33, 36, ..
 Sfen, 69
 Siderolit, 14
 Silvanit, 112
 Skorodit, 61
 Skuterudit, 149
Smaltin, 149
 Smitsonit, 107
 Somolnokit, 14
Spekularit, 70
 Spinel, 66, 79
- Srebro, 114, 45
 Stanin, 125
 Stefanit, 116
 Stibarsen, 134
Stibioenargit, 88
 Stibiokoluzit, 94
Stilpnosiderit, 65
 Struverit, 74
Stibioluzonit, 89
 Sulvanit, 97
- Š
- Šelit, 126
 Štromajerit, 117
 Švacit, 87
- T
- Tantalit*, 129, 123
Tapiolit, 129, 123
 Telurobizmutit, 122
 Tenantit, 87
 Tenorit, 92
 Tetraaurikuprid, 110
 Tetradimit, 122
 Tetradrit, 87, 33
 Tetraferoplatina, 118
 Timanit, 137
Titanomagnetit, 67, 69
 Torijanit, 130
 Troilit, 59, 46
 Tungstenit, 128
- U
- Ulmanit, 148
 Ulvospinel, 79, 70
 Uraninit, 130
 Uzonit, 136
- V
- Vaesit, 141, 55
 Vakabajašilit, 136
 Valentinit, 133
 Valerit, 97
 Vanadinit, 102
 Vilamaninit, 55
 Vilemit, 99
 Vilijamit, 149
 Violarit, 150
 Vircit, 107
Vitnejit, 90
Volframit, 127
 Vrbait, 138
 Vulfenit, 102
- Z
- Zeligmanit, 106
 Zigenit, 149
 Zlato, 110, 4, 46, 89
- Ž
- Živa, 131