



SEM LAB
Univerzitet u Beogradu
Rudarsko-geološki fakultet

Zgrada Hemijskog fakulteta
Studentski trg 12-16, Beograd
Prvi suteran, soba 242

Telefon: + 381 (0)11 3336 712
Telefon/faks: + 381 (0)11 2630 020
sem lab@rgf.bg.ac.rs
<http://www.rgf.bg.ac.rs/semlab>



LABORATORIJA ZA SKENIRAJUĆU ELEKTRONSKU MIKROSKOPIJU



O nama

Laboratorija za skenirajuću elektronsku mikroskopiju (SEM) pripada Univerzitetu u Beogradu - Rudarsko-geološki fakultet. Nalazi se u prostorijama Departmana za mineralogiju, kristalografiju, petrologiju i geochemiju, u zgradi Hemijskog fakulteta. Formirana je sredstvima EU FP7 projekta, iz programa REGPOT-2007-3, (2008-2011), pod naslovom "Reinforcing S&T capacities of two emerging research centers for natural and industrial pollutant materials in Serbia and Slovenia" (RESTCA-TERCE-NIPMSS).

Članovi laboratorije osposobljeni su za rad na instrumentu i analiziranje najrazličitijih prirodnih i sintetičkih materijala zahvaljujući kursevima koje su pohađali i obukama koje su imali u sličnim laboratorijama u Nemačkoj, Austriji, Švajcarskoj, Mađarskoj i Velikoj Britaniji. SEM laboratorija garantuje kvalitet interpretacije dobijenih podataka, pre svega, hemijskih analiza, kao i pozdano prepoznavanje i definisanje faza koje se analiziraju.

Za rad u laboratoriji zadužen je istraživački tim od pet članova, koji čine:
prof. dr Vladica Cvetković, šef laboratorije,
dr Kristina Šarić,
dr Suzana Erić,
dr Aleksandar Pačevski,
Nikola Vuković dipl. inž.



Oprema

Ovaj skenirajući elektronski mikroskop postiže visoku rezoluciju slike sa uvećanjima do 100.000x, može da radi u uslovima niskog i visokog vakuuma, a kao izvor elektrona (katode) koristi volframsko vlakno ili kristal LaB6. Pored detektora za sekundarne elektrone (SE) i povratno-rasute elektrone (BSE), kojim su opremljeni uglavnom svi elektronski mikroskopi, ovaj mikroskop je opremljen i savremenim energetsko-disperzivnim spektrometrom (EDS), kao i detektorom za katodoluminescenciju (CL). Laboratorija poseduje i sistem za napanje uzoraka zlatom i ugljenikom, kao i 64 standarda minerala i sintetičkih jedinjenja, zahvaljujući kojima se dobijaju pouzdane kvantitativne hemijske analize.

USKORO

Planirano je da se u toku narednih nekoliko meseci postojeća konfiguracija nadogradi još jednim detektorom, tj. talasno-disperzivnim spektrometrom (WDS), model Oxford Inca Wave 500, opremljenim sa četiri kristala za difrakciju. Ovaj tip detektora se koristi za kvantitativnu hemijsku analizu, a njegova osnovna prednost u odnosu na EDS detektor je u tome što ima nižu granicu detekcije, oko 100 ppm (0.01 mas.%) i bolju rezoluciju (oko 15 eV), odnosno, bolje razdvaja pikove koji se preklapaju na spektru.

SEM model: JEOL JSM-6610LV

Uvećanje

X 5-300.000

Elektronski top

Izvor elektrona: W žica, LaB6

Napon 0.3-30 kV

Vakuum sistem

Rotaciona pumpa + turbomolekularna pumpa (uključene u osnovnu konfiguraciju mikroskopa)

Jonska pumpa (koristi se za LaB6)

Rotaciona pumpa za rad u niskom vakumu (10-270 Pa)

Detektori

SE detektor; BSE detektor; CL detektor

EDS detektor (model: X-Max Large Area Analytical Silicon Drift connected with INCAEnergy 350 Microanalysis System); detekcija elemenata $Z \geq 5$; granica detekcije ~ 0.1 mas.%, rezolucija 126 eV

Komora za uzorke

Pomeranje uzorka: 5-osa (X, Y, Z, T - nagib, R - rotacija)

Maksimalna veličina uzorka: 20 cm (širina), 8 cm (visina), 1 kg (težina)

Dve infracrvene kamere

Standardi za mikroanalizu

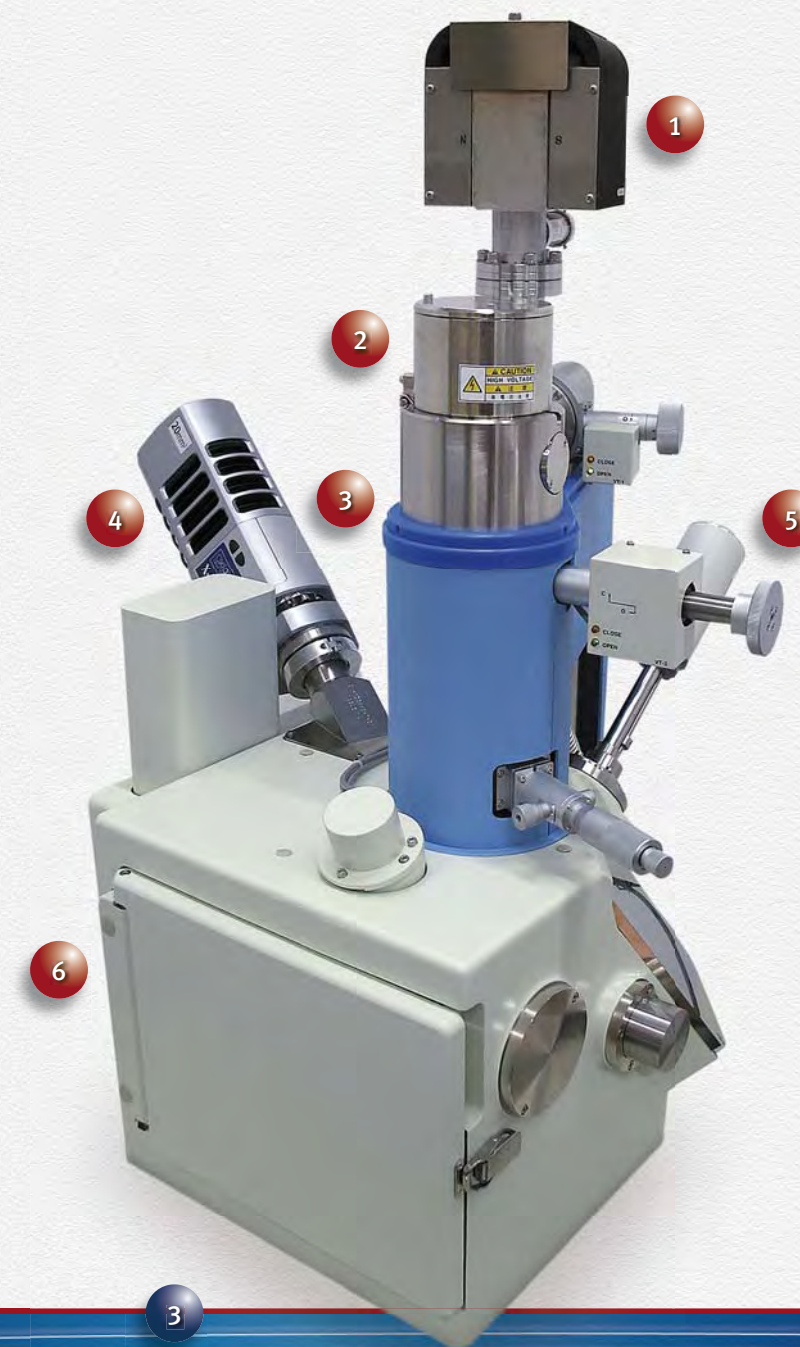
64 prirodna minerala i sintetička jedinjenja

Uređaj za napanje uzoraka zlatom (Au) i ugljenikom (C): model LEICA SCD005

Prateća oprema

(ultrazvučna kada, binokular i drugo)

- 1 Jonska pumpa
- 2 Elektronski top
- 3 Kolona
- 4 EDS detektor
- 5 CL detektor
- 6 Komora za uzorke



Priprema uzoraka



Mašina za neparivanje uzoraka

Prethodno opisana oprema služi za ispitivanje svih čvrstih materijala. Nema ograničenja u pogledu oblika uzorka za ispitivanje i minimalne dimenzije uzorka (npr. uzorak može biti čestica praha), a maksimalna dimenzija uzorka je data na prethodnoj strani.

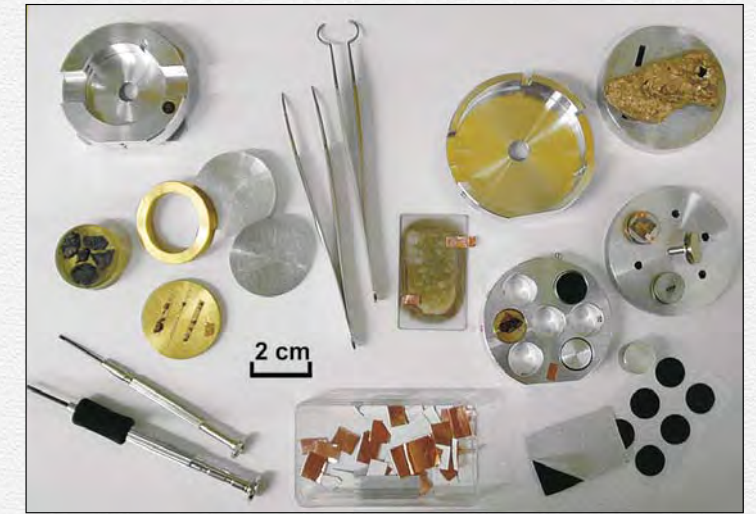
S obzirom da se analiza materijala vrši pod elektronskim snopom, potrebno je da je ispitivani materijal provodan, kako ne bi došlo do nagomilanja naelektrisanja (charging) i zagrevanja uzorka. Kako većina materijala slabo provodi ili ne provodi struju, uzorak je potrebno prethodno napariti, tj. prekriti tankim slojem (15-25 nm) elektroprovodnog materijala. Prekrivanje uzoraka zlatom se češće koristi kada analiza ima za cilj dobijanje SE snimaka na nepoliranim (neobrađenim) uzorcima, s obzirom da zlato daje bolji kontrast na snimku, odnosno, bolje ističe ivice, pore i druge morfološke karakteristike uzorka. Prekrivanje uzoraka ugljenikom se uglavnom koristi za polirane površine, kada gotovo ne postoji morfologija uzorka, a ispitivanje ima za cilj hemijsku analizu. Prednost ugljenika u odnosu na zlato tokom hemijske analize je u tome što ugljenik ima samo jedan pik, manje „podize“ osnovnu liniju (background) i time je manja mogućnost da se preklopi sa pikovima nekog elementa u analiziranom materijalu.

SEM metoda je uglavnom nedestruktivna. Do delimične promene na površini uzorka može doći prilikom neparivanja uzorka zlatom ili ugljenikom, s obzirom da ovaj elektroprovodan sloj nije moguće u potpunosti ukloniti sa neravnih površina nakon analize. Kada nije dozvoljena nikakva promena na nekom materijalu (npr. dragoceni arheološki

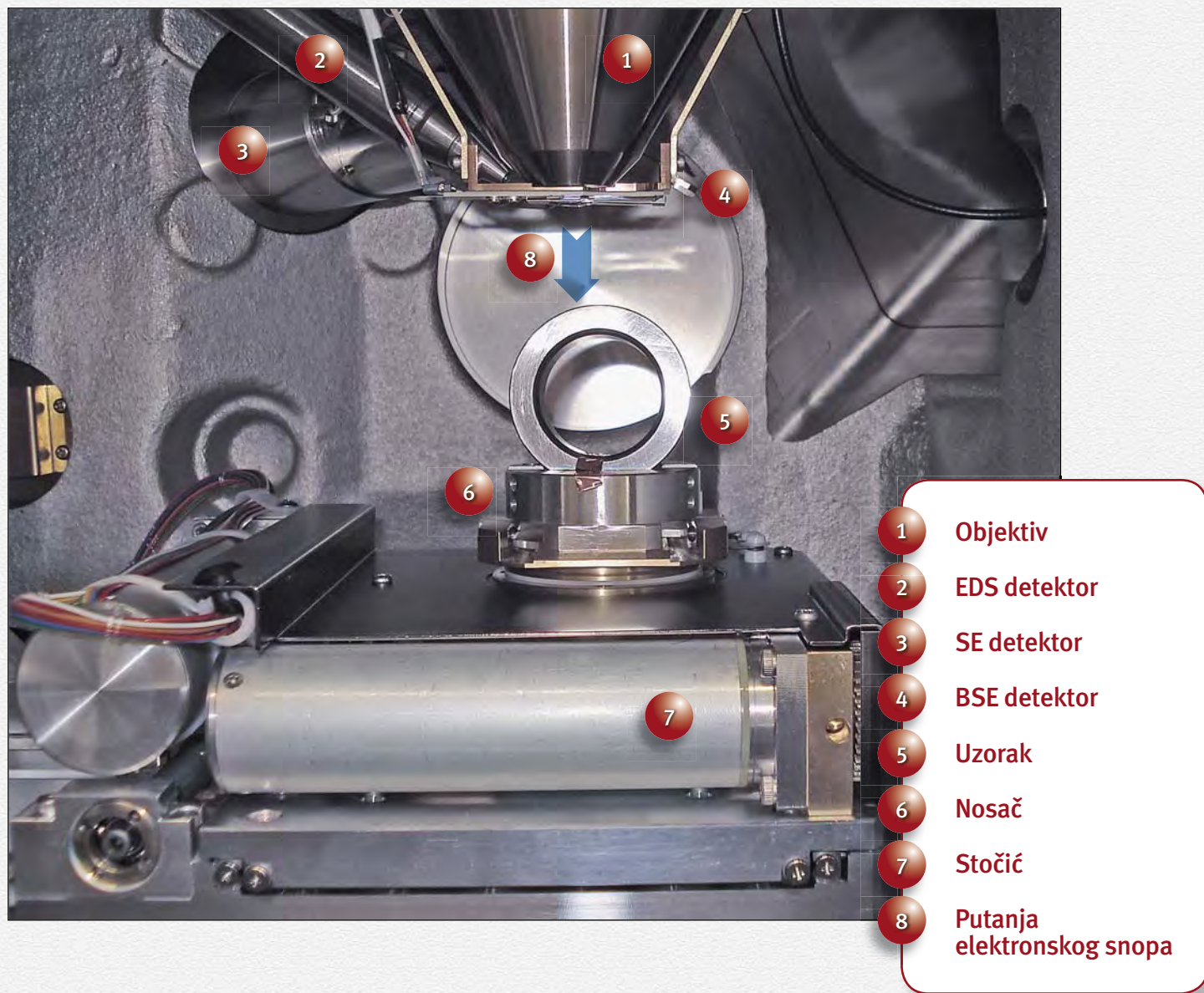
predmeti, nakit, uzorci koji će biti dalje ispitivani drugim metodama i drugo), takav uzorak je moguće analizirati u niskom vakuumu bez prethodnog neparivanja. Uzorci koji nisu stabilni u visokom vakuumu (npr. meka biološka tkiva) takođe mogu biti analizirani zahvaljujući mogućnosti rada mikroskopa u uslovima niskog vakuuma. Za pouzdanu kvantitativnu hemijsku analizu neophodno je dobijanje visokopoliranih površina uzoraka, što podrazumeva delimičnu destrukciju materijala.

Uzorke za SEM analizu treba najpre očistiti od čestica prašine, vlakana papira, nevezanih ili slabo vezanih čestica u uzorku, zamašćenih delova, otisaka prstiju i slično. Uzorke rutinski čistimo u laboratoriji, uglavnom ih uronimo u etanol ili petrol-benzin i nekoliko minuta držimo u ultrazvučnoj kadi, a zatim ih sušimo pod običnom lampom. Nakon čišćenja uzorci ne smeju biti dodirivani golim rukama, tj. obavezno je korišćenje rukavica. Čišćenje uzoraka je neophodno da ne bi došlo do kontaminacije mikroskopa zamašćenim delovima ili nevezanim česticama sa uzorka, s obzirom da mikroskop radi u visokom vakuumu koji može da „usisa“ nevezane čestice ili da uzrokuje evaporaciju masti.

Praškasti i sitnozrni materijali se obično nanose na aluminijumski nosač prečnika 1 cm preko koga je zalepljena dvostruko lepljiva traka od ugljenika (provodni materijal). Pojedine praškaste materijale ili koloidne čestice moguće je naneti iz rastvora, tako što se nanese kap rastvora direktno na neki nosač (npr. staklo) i ostavi nekoliko minuta da upari pod lampom.



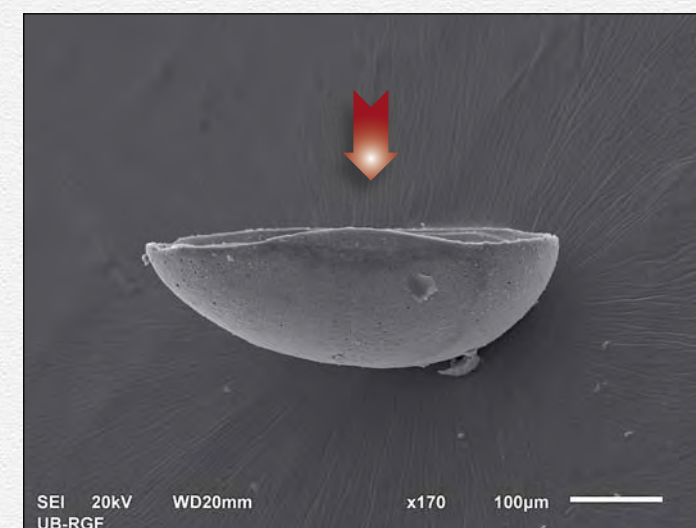
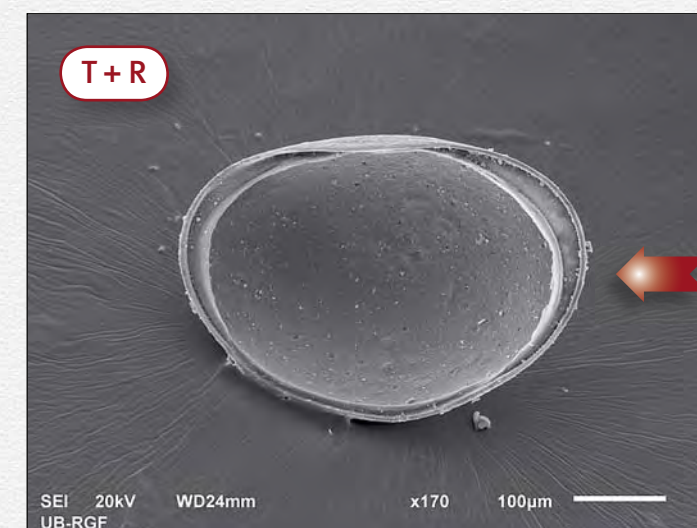
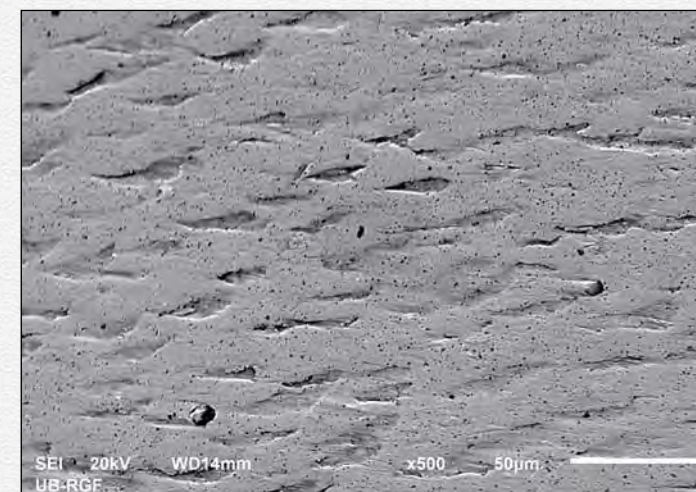
Pribor za pripremu i montiranje uzoraka: aluminijumski nosači uzoraka, dvostruko lepljive ugljenikove trake, bakarna traka, pincete.



Komora za uzorke

Na slici levo je prikazana unutrašnjost komore za uzorke u kojoj je moguće analizirati uzorke veličine do 20x8 cm. Uzorak koji se nalazi u komori je kuglični ležaj (oblast: mašinstvo) prečnika 5-6 cm. Uzorak je fiksiran na nosač lepljivom bakarnom trakom bez prethodnih priprema i obrada, a s obzirom da je materijal čelik koji je provodan, nije bilo potrebno prethodno naparivanje zlatom ili ugljenikom. Na slici gore desno se vide oštećenja na kotrljajućoj stazi ležaja, koja su izazvana kretanjem kuglice.

Stočić se može pomerati duž pet osa, odnosno omogućava pomeranje uzorka napred-nazad, levo-desno, gore-dole, kao i rotiranje i nagnjanje na neku stranu. Kombinacijom rotacije (R) i nagnjanja (T – tilt) uzorka, neki objekat je moguće posmatrati i analizirati iz različitih projekcija. Na slikama dole je prikazan takav primer na mikrofosilu - ostrakodi (oblast: paleontologija).



Prikaz SEM-snimaka i EDS-analiza

Signali sa uzorka se, preko detektora koji su postavljeni u komori za uzorke, prenose elektronskim putem na dva računara. Monitor sa leve strane (slika dole) prenosi snimak sekundarnih elektrona (SE), povratno-rasutih elektrona (BSE) i katodoluminescencije (CL), pri čemu je moguće istovremeno posmatrati dva snimka. Na slici su na tom monitoru istovremeno prikazani BSE snimak (levo) na kojem se vide različite faze koje se razlikuju po hemijskom sastavu i hemijska zonarnost kristala, kao i SE snimak (desno) na kojem se vidi morfologija uzorka, na primer žuta strelica pokazuje pukotinu oko koje se nagomilavaju sekundarni elektroni (*charging* efekat), što se ne zapaža na BSE snimku. Fotografija naznačena crvenom strelicom, koja pokazuje položaj uzoraka na nosaču, dobijena je pomoću IR kamere i pomera-

njem kursora direktno na toj slici moguće je vršiti odabir tačke na uzorku za analizu.

Računar na desnoj strani koristi se samo za EDS analize i predstavlja deo energetsko-disperzivnog sistema. Snimak BSE ili SE elektrona takođe može biti prenet na računar za EDS analize i na taj način moguće je birati mesta za analizu direktno na snimku, a analize se mogu raditi u jednoj tački, na odabranoj površini (četvorougao, ili nepravilan oblik) ili duž odabrane linije - profilna analiza (vidi sliku ispod). Naknadno je moguće na istom snimku raditi i mapu distribucije elemenata (X-ray mapping). U donjem delu monitora prikazan je EDS spektar. Apscisa na spektru predstavlja energiju rendgenskog zračenja izraženu u kiloelektronvoltima (KeV), a na osnovu položaja pikova utvrđuje se prisustvo hemijskih elemenata, to jest dobija se kvalitativna hemijska analiza. Ordinata na spektru predstavlja intezitet nekog pika izražen u brojevima impulsa (counts), koji zavisi od koncentracije nekog elementa, što predstavlja osnovu za dobijanje kvantitativne hemijske analize.



Primena mikroskopa

U našoj SEM laboratoriji moguće je proučavati morfologiju, fazni i hemijski sastav najrazličitijih materijala. Pored primene u različitim geološkim disciplinama (mineralogije, petrologije, kristalografije, paleontologije), SEM metoda je pogodna i za ispitivanja u oblasti ekologije, rudarstva, hemije, fizičke hemije, tehnologije, farmacije, stomatologije, medicine, biologije, elektronike, industrije stakla, keramike i porcelana, metalurgije, mašinstva, građevinarstva, prehrambene industrije, arheologije, zaštite spomenika kulture, šumarstva i drugih naučnih i privrednih disciplina. Zbog toga veliki broj naših korisnika dolazi iz najrazličitijih institucija, kao što su: Univerzitet u Beogradu (mnogi fakulteti prirodnih i tehničkih nauka), naučni instituti u Beogradu (IHTM, Vinča, ITNMS, IMS, Goša i drugi), muzeji i zavodi za zaštitu spomenika kulture (Narodni muzej, Republički zavod za zaštitu spomenika, Arheološki institut i drugi), Univerziteti u Novom Sadu, Kragujevcu i Prištini, korisnici iz okolnih zemalja (Crna Gora, Bugarska, Makedonija, Hrvatska) i fizička lica iz oblasti privrede.

Osnovni rezultati SEM analize:

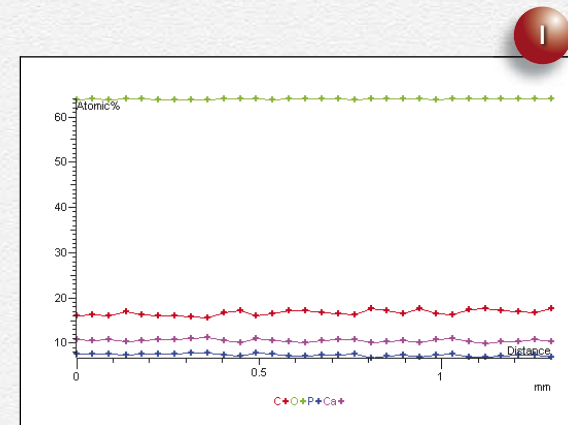
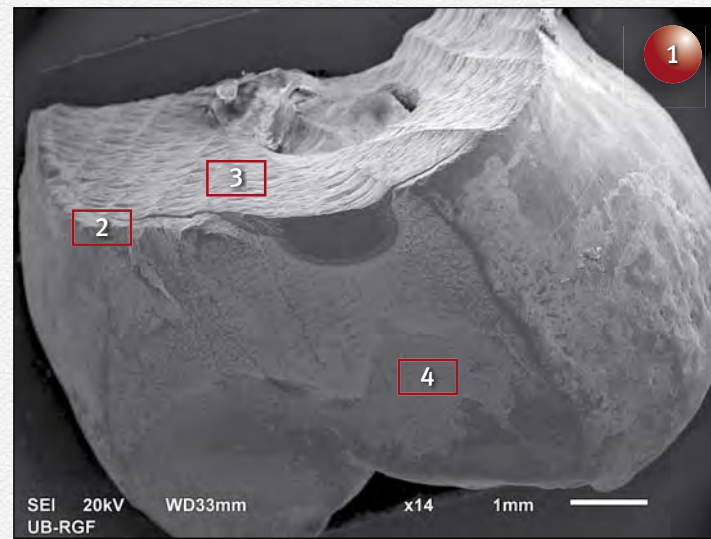
- Dobijanje SE snimaka malog i srednjeg uvećanja (do 20.000x) za ispitivanje morfoloških karakteristika materijala;
- Dobijanje SE snimaka velikog uvećanja (20.000-100.000x) za ispitivanje nanometarskih karakteristika materijala ili za merenje veličina nanočestica;
- Kvalitativna i semi-kvantitativna analiza neobrađenih uzoraka;
- Kvantitativna analiza na poliranoj površini ispitivanog materijala, kojom je moguće i odrediti homogenost/heterogenost pomoću BSE snimka i mapa distribucije elemenata (X-ray mapping), kao i dobiti kvantitativnu tačkastu i/ili profilnu (linijsku) analizu;
- Utvrđivanje postojanja katodoluminescencije u analiziranom materijalu, koja se koristi za ispitivanje strukturnih karakteristika. Ova metoda, na primer, može da ukaže na postojanje aktivatora katodoluminescencije, kao što su prisustvo nekih hemijskih nečistoća u tragovima ili postojanje strukturnih defekata.



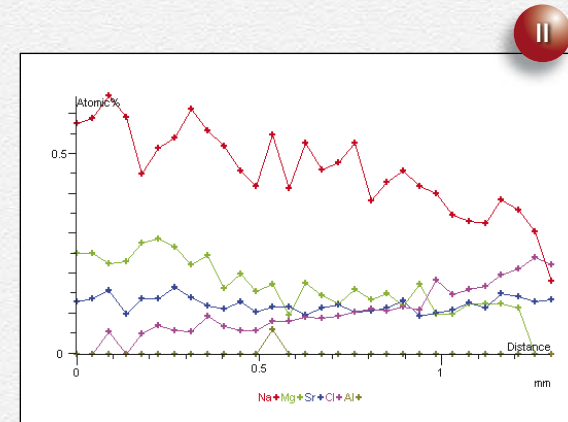
Primer 1.

Dobijanje SE snimaka malog i srednjeg uvećanja + kvantitativna linijska analiza (oblast: stomatologija)

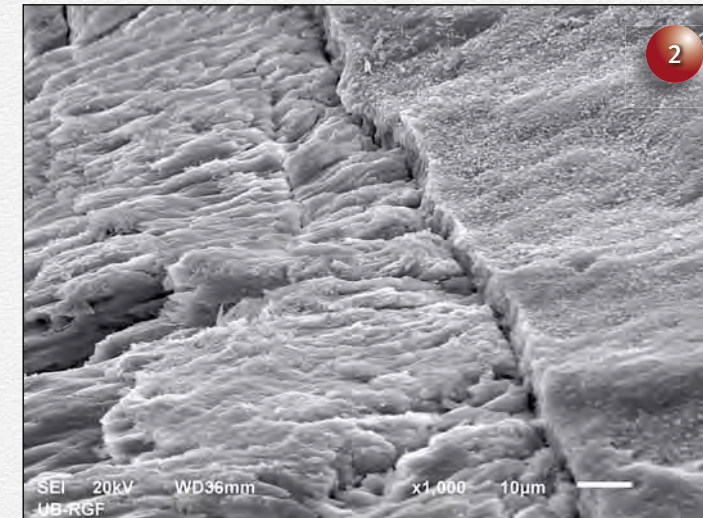
Kombinacijom manjih i većih uvećanja moguće je ispitivati morfologiju nekog materijala u celosti (slika 1 pokazuje ceo zub koji je malo zasečen na prednjoj strani) i posmatrati teksturu i odnos njegovih izgrađivačkih delova pri većem uvećanju (prikaz na slikama 2, 3 i 4). Od istog zuba je zatim napravljen polirani preparat (slika 5) i linijskom analizom su praćene promene u sadržaju makro- i mikroelemenata zubne gleđi od kontakta sa dentinom prema obodu (grafikoni I i II). Makroelementi ne pokazuju promene u sadržaju duž ispitivanog profila, dok od mikroelemenata natrijum, pokazuje opadajući, a hlor rastući trend od kontakta prema obodu.



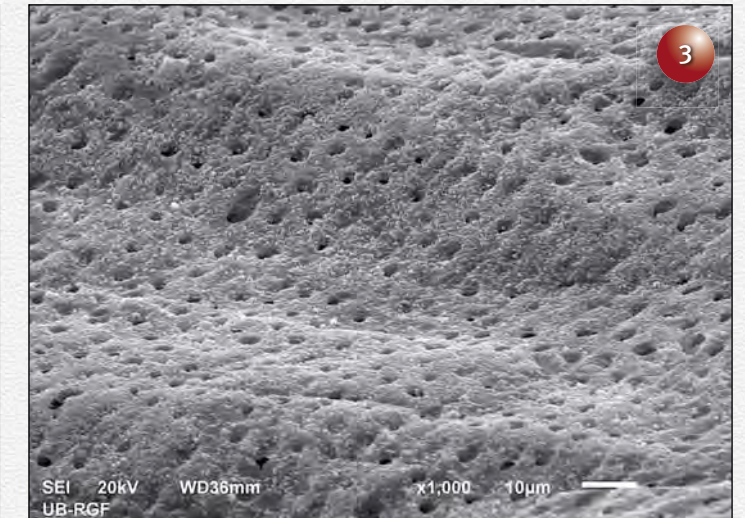
Makroelementi



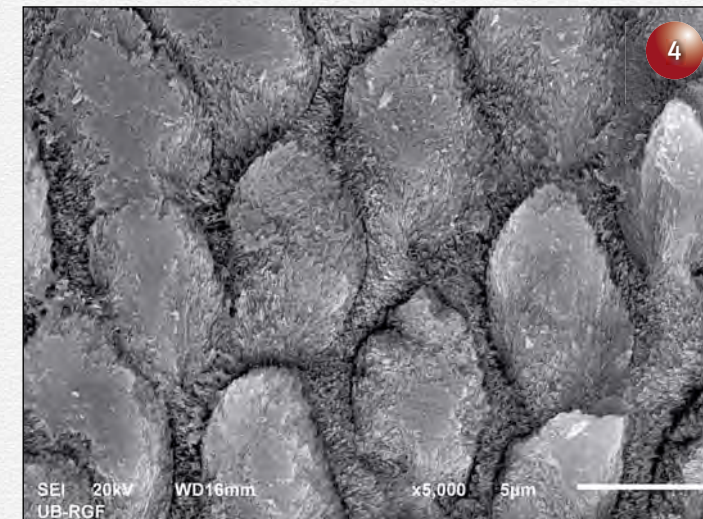
Mikroelementi



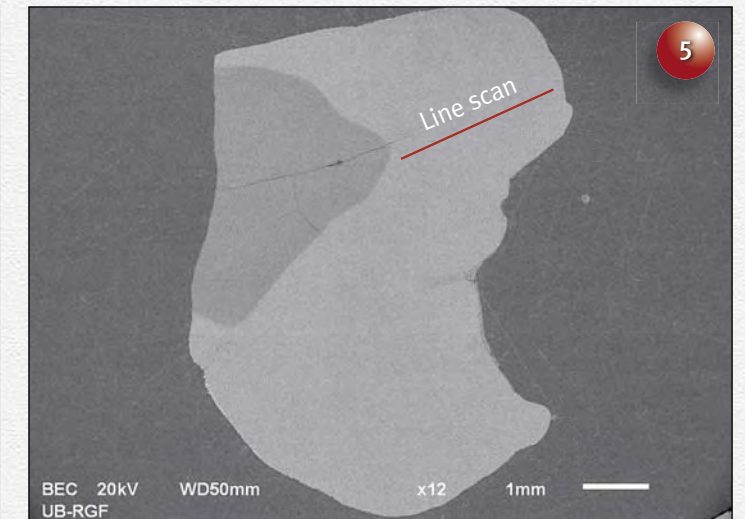
Kontakt gleđi i dentina



Dentin cevaste teksture



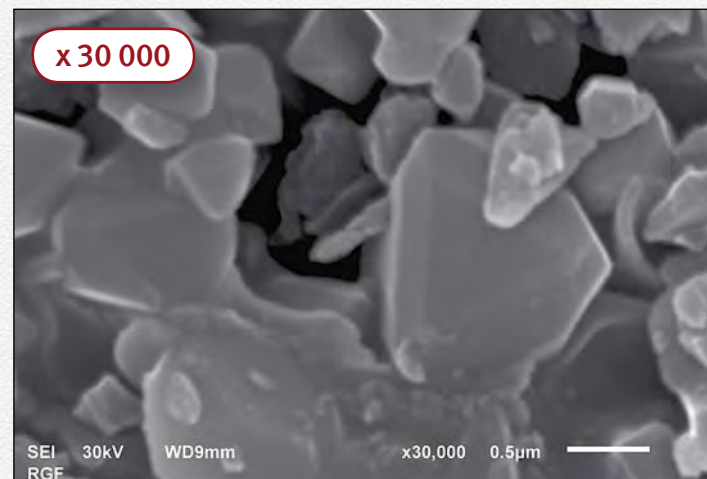
Gleđ sa teksturom gleđnih prizmi



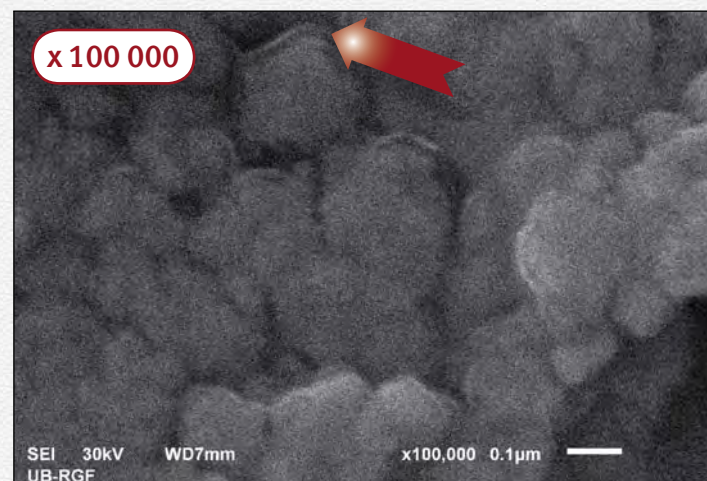
Polirani presek zuba sa slike 1

Primer 2.

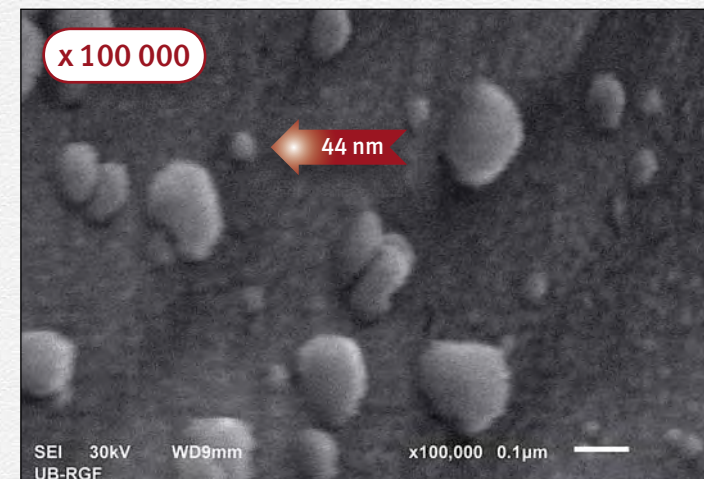
Dobijanje SE snimaka velikog uvećanja (oblast: nanomaterijali)



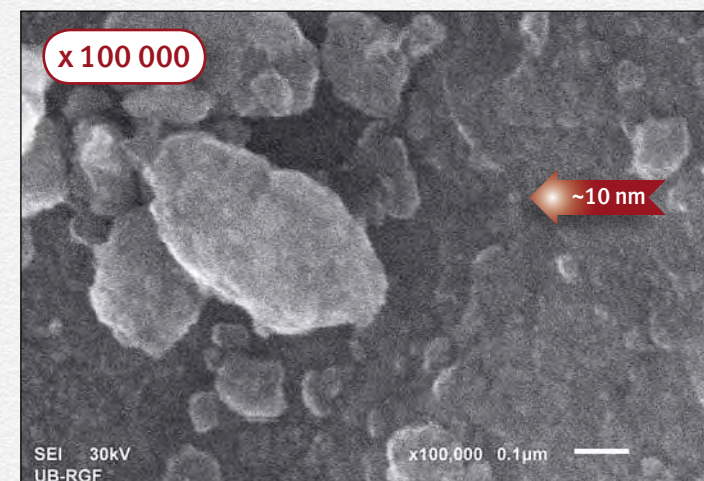
Zrna veličine nekoliko stotina nanometara do jednog mikrometra snimaju se u opsegu uvećanja 20.000x – 50.000x, a pored veličine zrna, na ovim uvećanjima može jasno da se vidi i morfologija, odnosno, kristalna forma zrna.



Zrna veličine do 100 nm snimaju se u opsegu uvećanja 50.000x – 100.000x. Bez obzira što je uzorak naparen slojem zlata debljine oko 15 nm, moguće je pratiti morfološke karakteristike nanometarskih veličina. Na slici se zapaža rub nanočestica (strelica) čija je debljina svega 10-20 nm. Oštrina slike često zavisi od samog materijala. Kada zrna nisu u potpunosti razdvojena, nije ih moguće ni meriti, a slika izgleda zamućeno.



Najbolje merenje veličine nanozrna je u slučaju kada su zrna međusobno razdvojena i ukoliko se zrna od interesa razlikuju po hemijskom sastavu od podloge. Na slici je prikazan takav jedan primer međusobno razdvojenih srebronosnih čestica na celuloznom vlaknu. Dodatni kontrast je postignut na osnovu mnogo veće molekulske mase čestica u odnosu na podlogu. Ukoliko je uzorak prethodno naparen, prilikom merenja nanočestica treba imati u vidu da debljina sloja elektroprovodnog materijala utiče na veličinu čestice.



Pojedini materijali pokazuju zrna veličine nekoliko mikrona. Pri velikom uvećanju, međutim, zapaža se da su ova zrna zapravo agregati sačinjeni od nanometarskih zrna. Na slici se može zapaziti minimalna dimenzija nanozrna od 10 nm. S obzirom da se provodni materijali ne naparavaju, izmerene dimenzije čestice predstavljaju realnu veličinu čestice, za razliku od prethodnog primera.

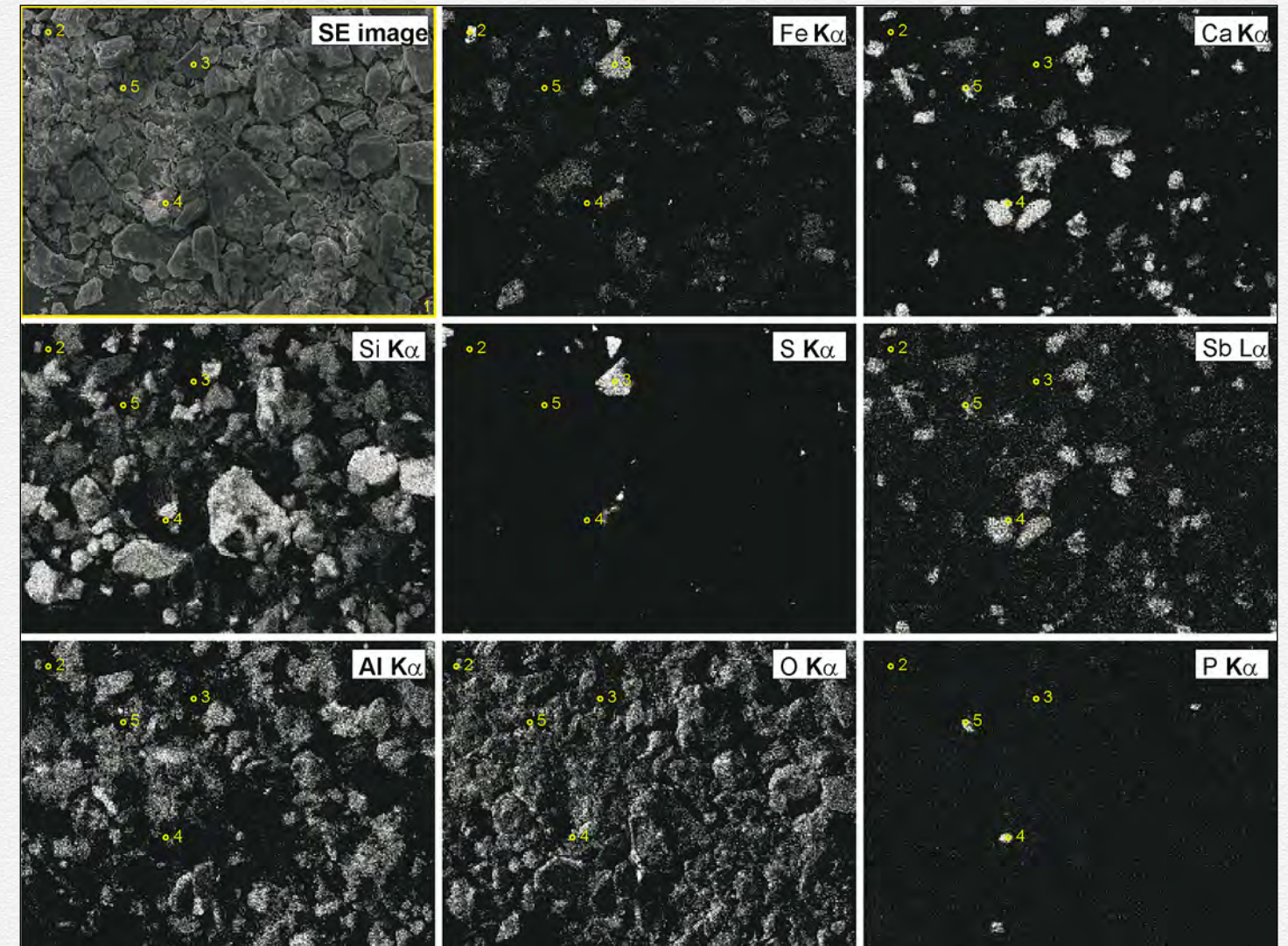
Primer 3.

Kvalitativna, semi-kvantitativna analiza i mape distribucije elemenata neobrađenih uzoraka (oblast: zaštita životne sredine)

Slika desno pokazuje upotrebu mapa distribucija elemenata na primeru nevezanog sitnozrnog materijala sa rudnog jalovišta. Glavni cilj ove analize bio je utvrđivanje eventualnog prisustva toksičnih elemenata i sulfidnih jedinjenja na jalovištu. Snimak sekundarnih elektrona ne otkriva razliku u hemijskom sastavu među zrnima, a prosečan hemijski sastav materijala obuhvaćenog pomenutom slikom dat je u analizi 1 (vidi tabelu). Svetli delovi na mapama pokazuju povišene koncentracije elementa koji je naznačen u gornjem desnom uglu svakog snimka. Gvožđe (Fe) i sumpor (S) pokazuju prilično dobru korelaciju u raspodeli elemenata, a analiza 3 potvrđuje prisustvo minerala pirita (FeS_2). Na mapi za Fe se, međutim, započinje i prisustvo jednog zrna bogatog gvožđem (analiza 2), koje ne sadrži sumpor, a analiza u tabeli nam otkriva da je to oksidno jedinjenje gvožđa. Na ostalim slikama se mogu zapaziti i druge korelacije elemenata, npr. pozitivna korelacija sadržaja Ca i P (mineral apatit, analize 4 i 5), kao i negativna korelacija sadržaja Si i Al, što ukazuje na verovatno prisustvo kvarca (SiO_2) i tako dalje.

	1	2	3	4	5
C	14.93	6.08	0.00	9.91	10.90
O	47.76	35.46	6.27	49.40	35.96
Na	0.92	1.14	0.00	0.00	0.00
Mg	0.74	0.00	0.00	0.00	0.17
Al	4.55	1.55	0.44	0.37	0.97
Si	17.39	4.52	1.88	0.63	1.21
P	0.00	0.00	0.00	13.60	16.74
S	0.75	0.00	45.40	0.00	0.00
K	1.53	0.23	0.00	0.00	0.38
Ca	3.75	0.38	0.00	23.68	31.70
Ti	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.72	0.67	0.00	0.00	0.00
Fe	5.20	49.71	46.01	0.48	0.44
Cu	0.30	0.26	0.00	0.25	0.42
Zn	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00
As	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sb	0.49	0.00	0.00	1.00	1.12
Pb	0.56	0.00	0.00	0.67	0.00

Tabela. Hemijski sastav proba prikazanih na slici desno dat je u mas.%. S obzirom da su analize normalizovane na 100% i rađene na neravnim površinama, mogu se tretirati kao semi-kvantitativne.



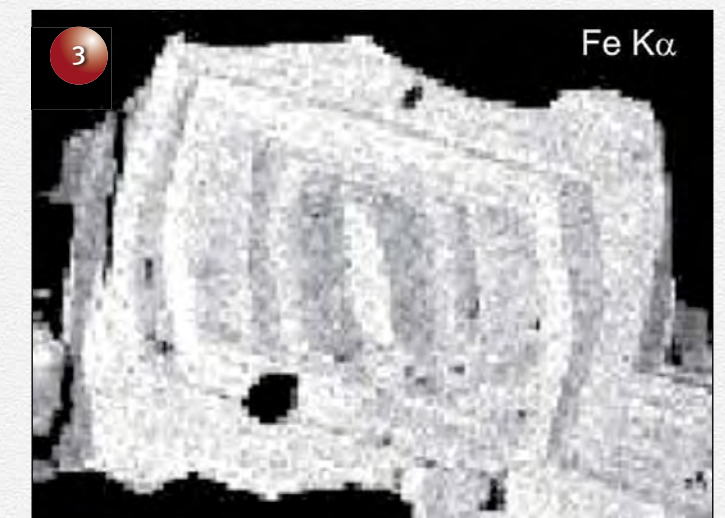
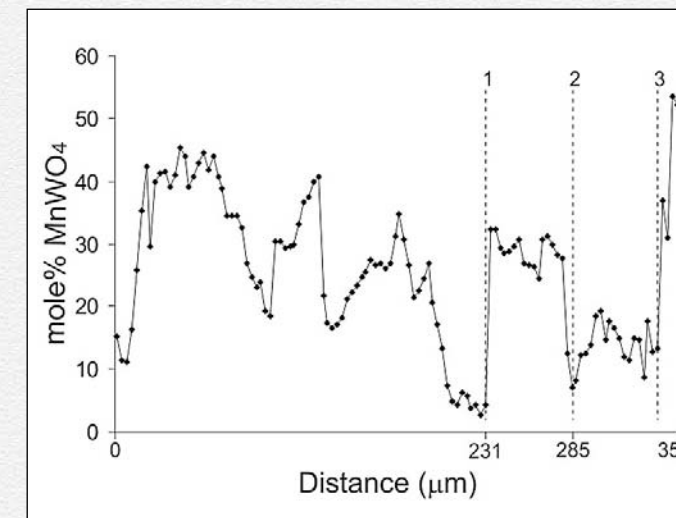
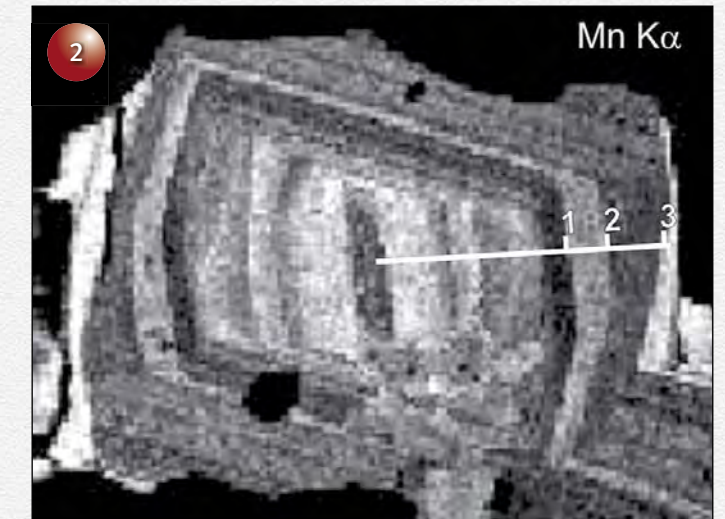
Primer 4.

Mape distribucije elemenata i linijska analiza na poliranoj površini (oblast: mineralogija)

Na slici 1 prikazan je kristal minerala volframita, $(\text{Fe,Mn})\text{WO}_4$, koji predstavlja izomorfnu smešu dva krajnja člana - ferberita (FeWO_4) i hibnerita (MnWO_4), u kojoj se Fe i Mn međusobno zamenjuju u strukturi minerala. Usled ovog zamenjivanja ispitivani kristal na mapama distribucije elemenata (snimci 2 i 3) pokazuje oscilatornu zonarnost i negativnu prostornu korelaciju ova dva metala. Ova zonarnost minerala se ne zapaža na BSE snimku, zbog male razlike u relativnim atomskim masama gvožđa ($A_r = 55,847$) i mangana ($A_r = 54,938$), a ova razlika naročito ne dolazi do izražaja u prisustvu volframa koji je znatno teži element ($A_r = 183,85$), tj. zbog uticaja matriksa. Razlika između Fe i Mn u drugim jedinjenjima koja ne sadrže teške elemente (npr. oksidima) bila bi lako uočljiva na BSE snimku.

Mape distribucije elemenata se često koriste u kombinaciji sa profilnom analizom (line scan). U nastavku teksta će biti prikazan primer primene profilne analize koja pomaže u interpretaciji mehanizma rasta kristala.

Na dijagramu se vidi promena sadržaja hibneritske komponente u ispitivanom kristalu od centra prema periferiji, duž linije prikazane na snimku 2. Profilna analiza pokazuje dva načina u promeni koncentracije mangana u toku rasta kristala: a) veće oscilacije u hemijskom sastavu ($>20 \text{ mol.}\% \text{ MnWO}_4$), i b) slabe oscilacije u hemijskom sastavu ($<10 \text{ mol.}\% \text{ MnWO}_4$). Dva načina oscilacija u hemijskom sastavu ukazuju da postoje dva mehanizma rasta kristala, što se može povezati sa promenama fizičko-hemijskih osobina hidrotermalnog rastvora iz koga je kristal obrazovan (veće oscilacije u hemijskom sastavu) i mehanizmima lokalnog samoorganizovanja slojeva rasta kristala (slaba oscilacija u hemijskom sastavu). Na primer, izražena zona rasta kristala između tačaka 1 i 2 obrazovana je naglim promenama uslova u hidrotermalnom rastvoru, ali sama zona sadrži slabe oscilacije u hemizmu koje su verovatno nastale usled mehanizma samoorganizovanja narastajućih slojeva kristala. Deo profilne analize posle tačke 3 pokazuje nagli skok u sadržaju Mn i predstavlja obodni deo minerala koji je naknadno obrazovan, a mapa (snimak 2) nam pokazuje da ova najsvetlija zona ne prati oblike ostalih zona rasta kristala, tj. da je nastala u drugom stadijumu obrazovanja.



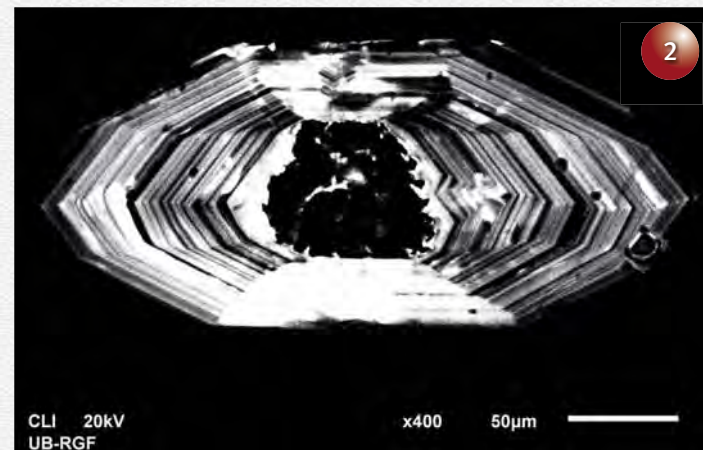
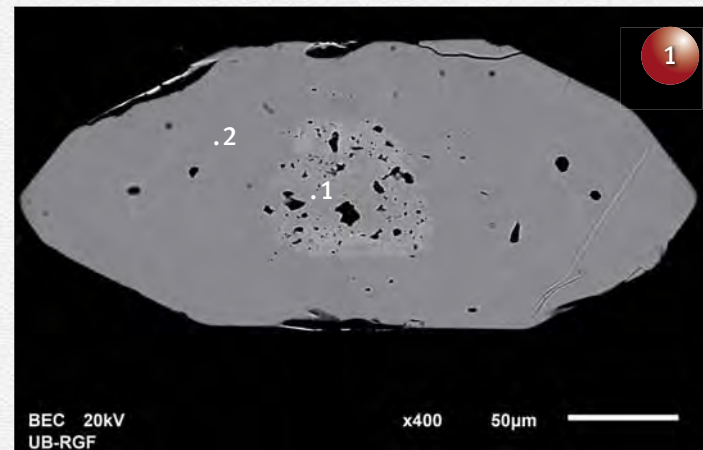
Primer 5.

Kvantitativna analiza, hemijska nehomogenost i katodoluminescencija minerala (oblast: mineralogija)

Na slici 1 prikazana je hemijska nehomogenost kristala cirkona, $ZrSiO_4$, pomoću povratno-rasutih elektrona (BSE). Centar kristala je malo svetliji zbog toga što sadrži povećani sadržaj hafnijuma (vidi tabelu) koji zamenjuje cirkonijum u strukturi ovog minerala, a kako je Hf teži element ($Z = 72$) od Zr ($Z = 40$), povećava BSE koeficijent, tj. više odbija upadne elektrone i snimak je u tom delu svetliji. Kvantitativna analiza, prikazana u tabeli, rađena je bez normalizacije i na osnovu spoljašnjih standarda kojima je naša laboratorija opremljena.

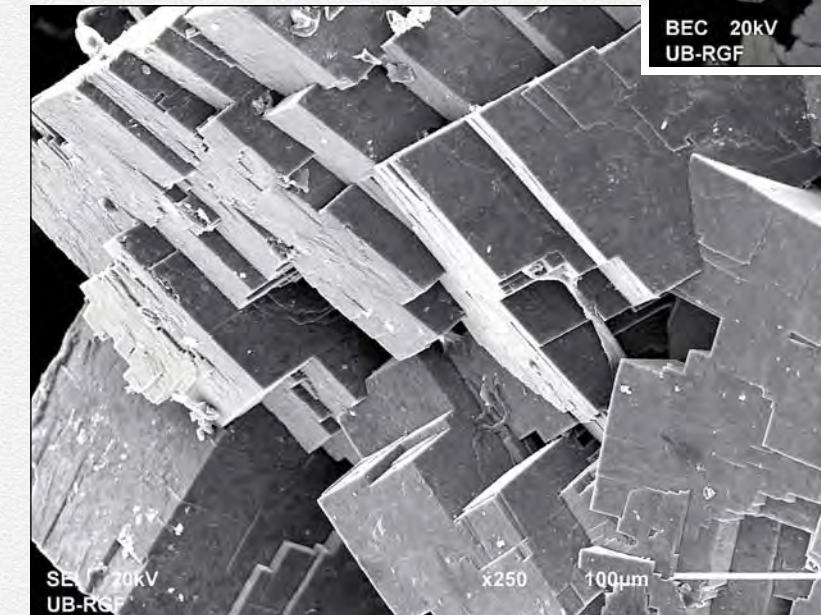
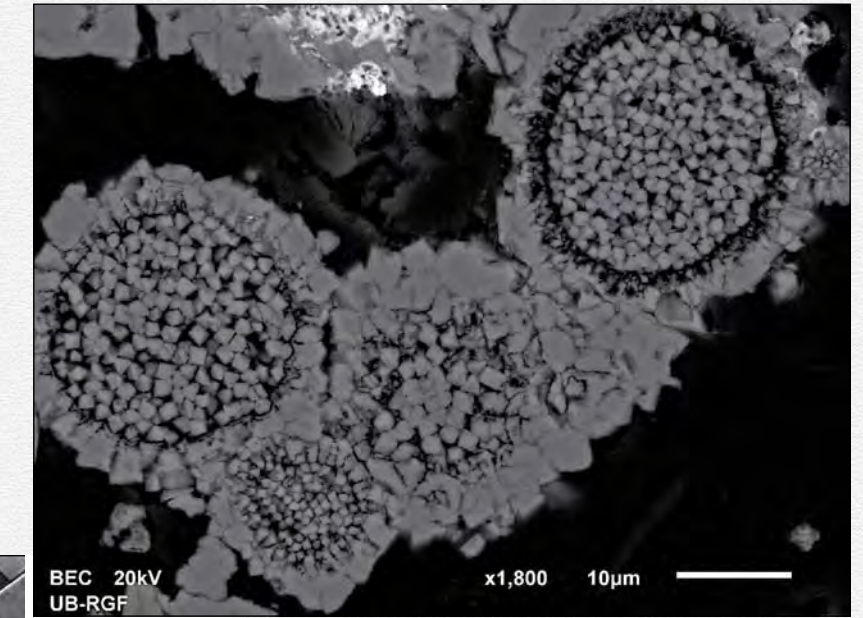
Slika 2 pokazuje katodoluminescenciju ispitivanog kristala. Poznato je da cirkon pokazuje katodoluminescenciju, a odsustvo ovog fenomena u centralnom delu kristala na prikazanom primeru moglo bi se objasniti prisustvom hemijskih nečistoća, tj. povišenog sadržaja hafnijuma. Snimak katodoluminescencije takođe otkriva oscilatornu zonarnost koja je verovatno uzrokovana oscilacijom u sadržaju hafnijuma u toku rasta kristala, kao i sektorsku zonarnost, odnosno, sektore rasta kristala u različitim kristalografskim pravcima.

	mas. %	
	1	2
Si	14.75	14.51
Zr	49.03	49.95
Hf	1.46	0.87
O	34.21	34.26
Suma	99.45	99.59



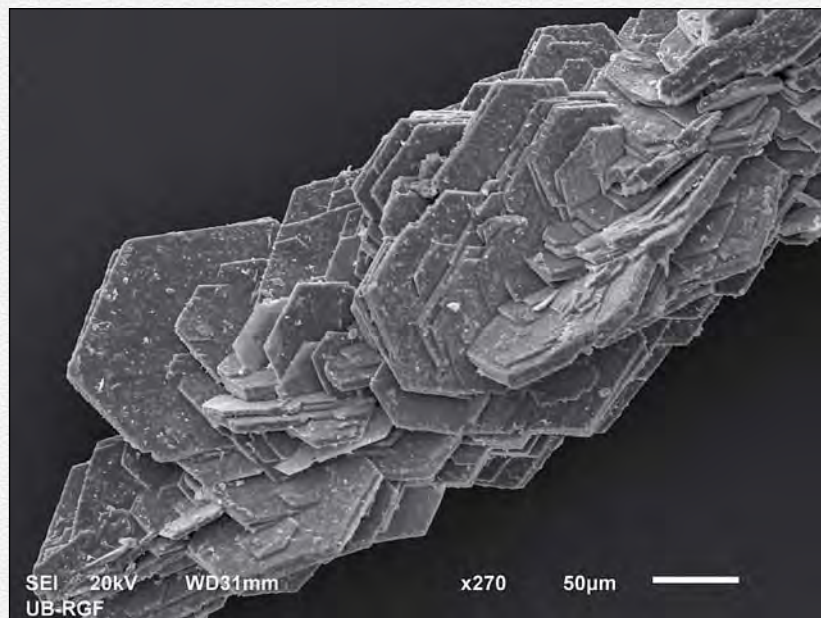
Ostali primeri: Oblast: mineralogija

Framboidalni pirit, FeS_2
(polirana površina)

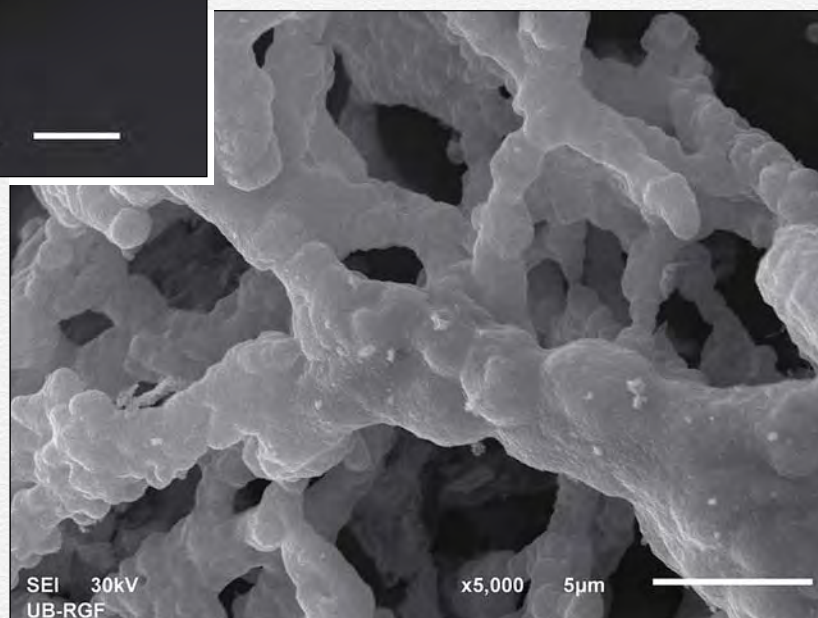


Kalcit, $CaCO_3$

Oblast: nauke o materijalima

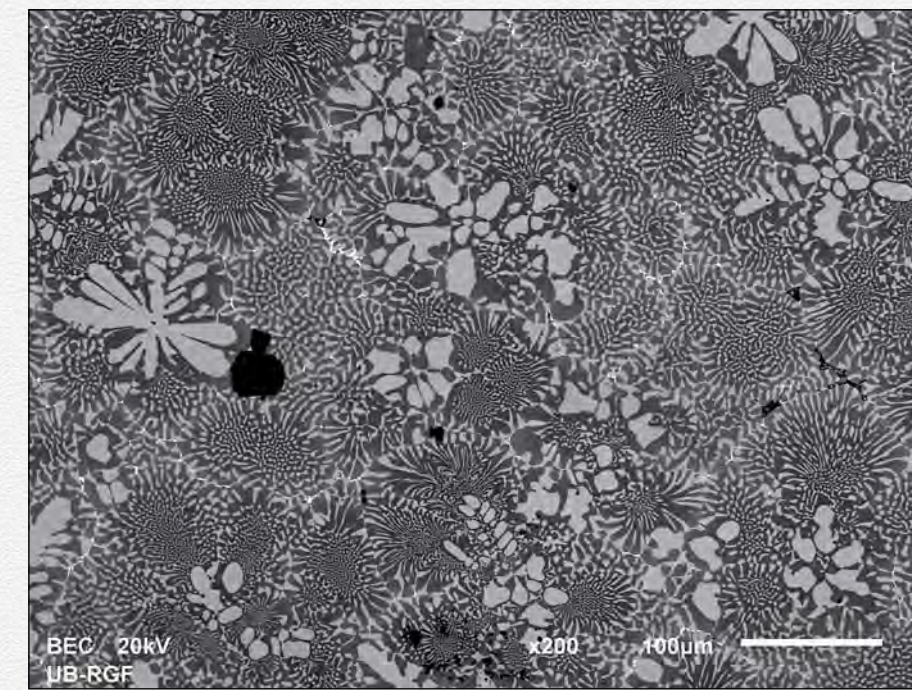


Sintetičko jedinjenje - kristali

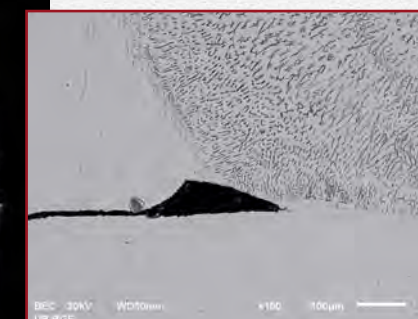
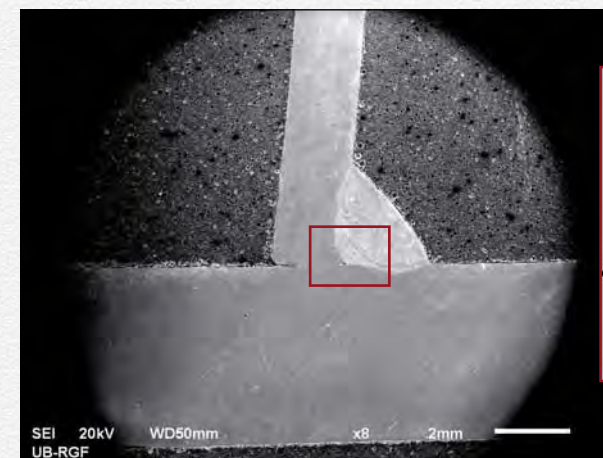


Sintetičko jedinjenje - agregati

Oblast: metalurgija

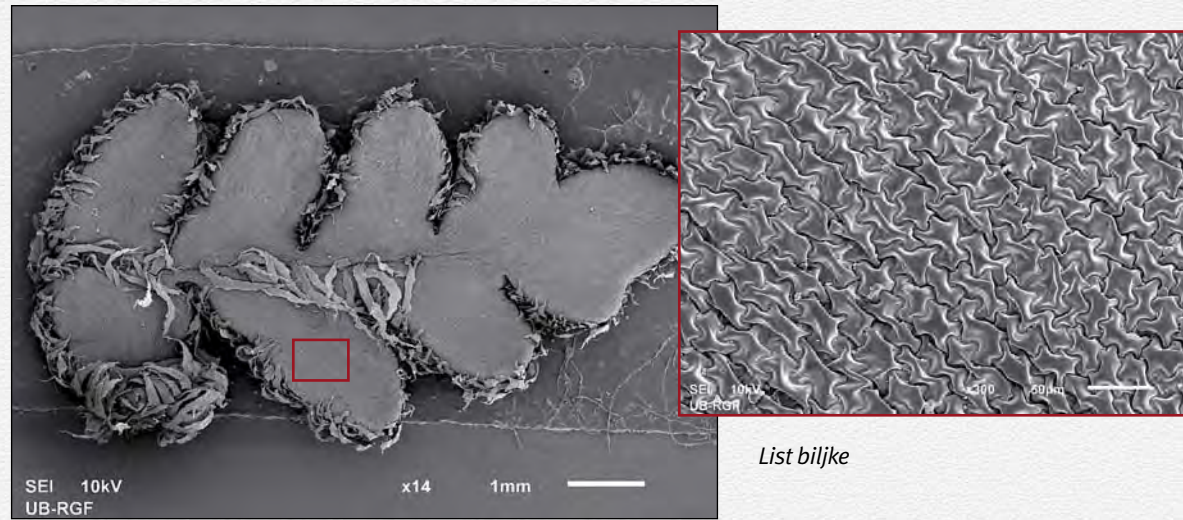


*Legure
(polirana površina)*

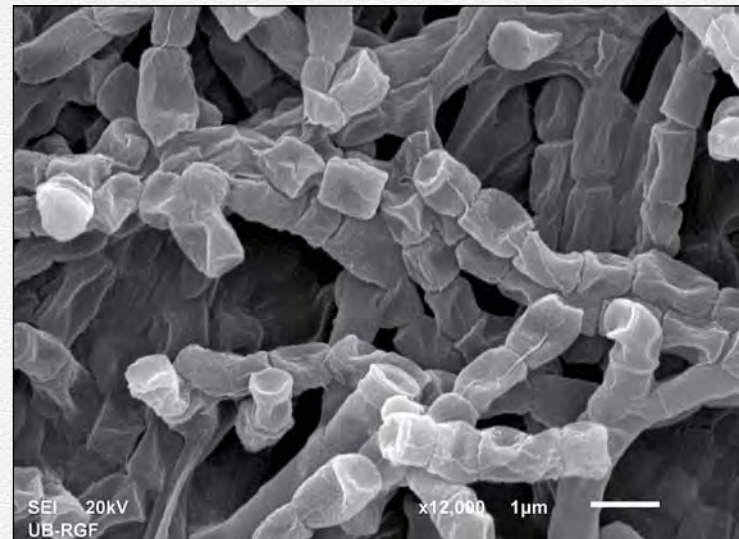


*Zavarivanje
(polirana površina
nakon nagrizanja)*

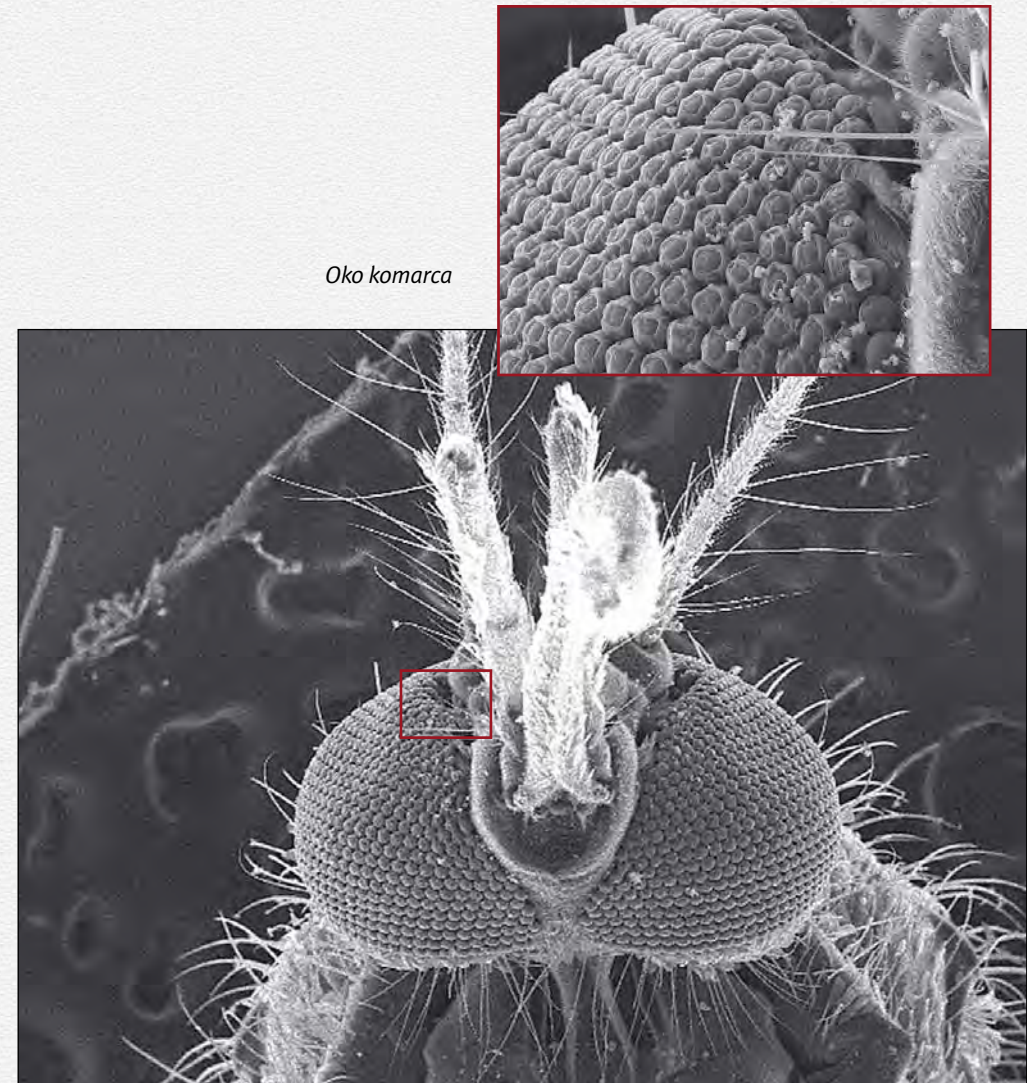
Oblast: biologija



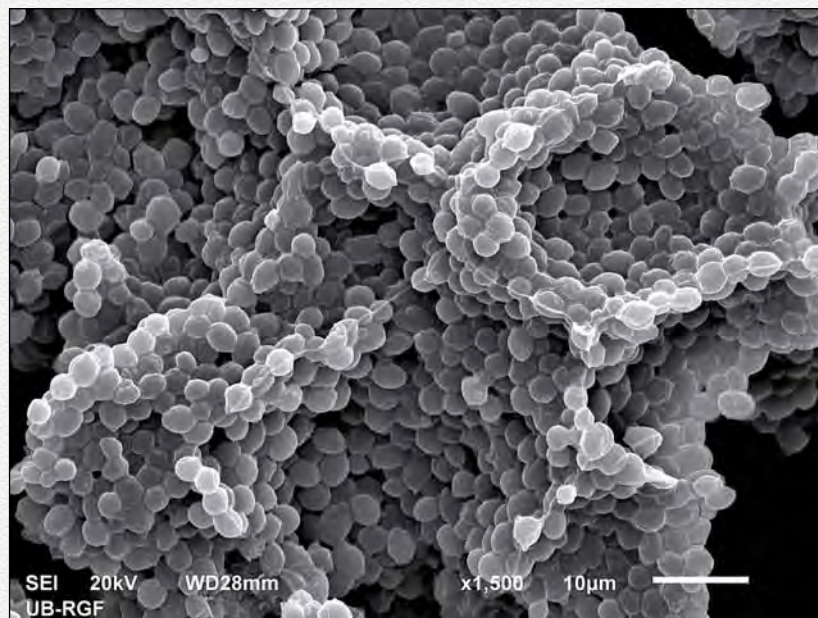
Bakterije streptomicete



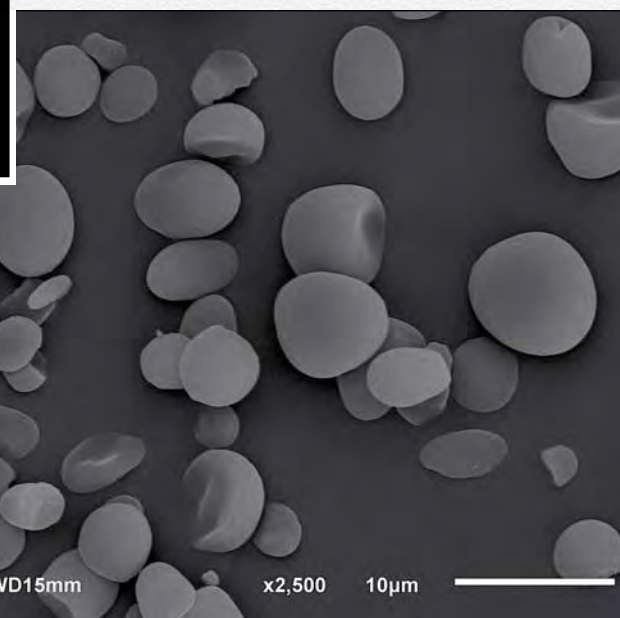
Oblast: biologija



Oblast: nauke o hrani



Čelijski zidovi kvasca



Skrob



SEM laboratorija je otvorena za saradnju sa svim zainteresovanim korisnicima - od univerzitetskih i drugih naučno-obrazovnih institucija, do privrednih organizacija, medicinskih ustanova i fizičkih lica.

Ukoliko želite da radite u našoj laboratoriji, neophodno je da rezervišete termin.
Kontaktirajte osoblje laboratorije na:

Email: sem lab@rgf.bg.ac.rs
Telefon u laboratoriji: + 381 (0)11 3336 712
Telefon/faks: + 381 (0)11 2630 020

Nikola Vuković, dipl. inž.
nikola.vukovic@rgf.bg.ac.rs

Dr Aleksandar Pačevski
aleksandar.pacevski@rgf.bg.ac.rs

Dr Suzana Erić
suzana.eric@rgf.bg.ac.rs

Dr Kristina Šarić
kristinas@rgf.bg.ac.rs

Dr Vladica Cvetković
cvladica@rgf.bg.ac.rs