

Geol. vjesnik	30/2	627—633	Zagreb, 1978
---------------	------	---------	--------------

548/9(091)(497.1)

Razvoj mineralogije u SR Hrvatskoj od 1951—1976. god.

Stjepan ŠCAVNIČAR

*Mineraloško-petrografski zavod, Prir.-mat. fakultet,
Demetrova 1, YU—41000 Zagreb*

Put koji je mineralogija prošla u minulih 25 godina ogleda se u odgoju i razvoju stručnih i znanstvenih kadrova, u osvajanju i primjeni novih spoznaja i iskustava, u proširenju ili poboljšanju metoda i tehnika istraživačkog rada s iznalaženjem novih pristupa k rješavanju pojedinih problema, u širenju same problematike, i svakako u količini, težini i aktualnosti riješenih slučajeva, u stručnoj upotrebljivosti i znanstvenoj vrijednosti prikupljenih podataka i informacija.

Činjenica je da mineralogija u Hrvatskoj, ocjenjivana prema upravo navedenim kriterijima, bilježi stalan i manje više kontinuiran razvoj; ipak ostvareni napredak ne zadovoljava naše realne potrebe i zaostaje za usponom u drugim zemljama.

Tokom čitavog proteklog perioda na Sveučilištu u Zagrebu vršila se organizirana dodiplomska nastava iz struke mineralogija i petrologija. Fizionomija studija stalno se prilagođavala potrebama struke, razvoju znanosti i ostalim tendencijama u okviru reforme visokog školstva. S tim u vezi su svakih 5 do 7 godina usvajani novi nastavni planovi i programi, koji su savjesno pripremani kroz nekoliko godina. Mineralogija, naime, po prirodi problema i objekata istraživanja, po metodama i tehnikama rada, po načinu obrade podataka i interpretaciji rezultata, kao i po širini primjene stečenih saznanja i spektru interesenata za njih, tijesno graniči ne samo s ostalim geoznanostima, od kojih se neke kao petrologija, geokemija, ekonomska geologija i temelje na mineralogiji, nego i s kemijom, fizikom, rudarstvom, pedologijom. Za mineralogiju i mineraloga stoga nema dileme da li te veze treba održavati i dalje razvijati, budući da bi svaki pokušaj izolacije sigurno vodio k stagnaciji. Međutim, za odgoj mladih stručnjaka presudno je da li će u programu studija mineralogije udio graničnih znanosti biti adekvatan i međusobno uravnotežen, ili će možda jedna od tih veza neracionalno prevagnuti. Tu na žalost ne postoje neki općenito priznati i svevaljani kriteriji za izbor gradiva, pa se tako i unutar jedne zemlje studij iz mineralogije provodi na pojedinim Sveučilištima prema programima koji se međusobno osjetno razlikuju, što samo po sebi ne mora biti i vjerojatno nije negativno. Nepriistrana analiza naših dosadašnjih planova i programa pokazala bi da je bilo oscilacija, pa i

nedostataka. To je i razumljivo: kod programiranja je uvijek trebalo voditi računa i o raspoloživom nastavnom kadru i opremi, a ti elementi su većinom djelovali ograničavajuće; s druge strane na formiranje modela pravog i željenog stručnjaka mineraloga utječu, pored zahtjeva prakse te određenih normi, i činioци kao što je uža specijalnost vodećih u nastavi, smisao i interes i za one »druge« probleme struke, informiranost o dostignućima i tendencijama na znanstvenom području.

Zagrebačka »škola« nastojala je i nastoji odgojiti stručnjaka koji će pored neophodnih osnovnih i specijalnih znanja i umijeća iz uže struke i graničnih područja, što ga osposobljava za početak rada u struci, imati makar i najgrublju predodžbu o suvremenim problemima iz mineralogije i barem elementarne informacije o stalno rastućim mogućnostima rada primjenom sve savršenijih instrumenata i sve boljih metoda istraživanja. Ako se u tome uspije, a trebalo bi se uspjeti kod svakog zainteresiranog i prosječno talentiranog studenta, onda je prva etapa u razvitku stručnjaka dobro završena, pa je tako i nadogradnja moguća, bilo kroz postdiplomski studij mineralogije koji se već niz godina organizirano provodi u Zagrebu, bilo kroz izradu disertacije, bilo kroz neku užu specijalizaciju, a ta opredjeljenja ovise o osobnim sklonostima usklađenim s potrebama radne organizacije.

Instrumentalne mogućnosti istraživanja minerala rastu u svijetu zapanjujućim tempom. Svjedoci smo spoznaje činjenica i otkrića koja se još u nedavnoj prošlosti nisu mogla ni naslutiti. Zna se npr. da se danas elektronskim mikroanalizatorom, tzv. Castaingovom sondom, može kvantitativno odrediti kemijski sastav minerala praktički u točki, iz nekih 10^{-6} grama materijala koji ne će biti razoren, s razlučivanjem od cca $1 \mu\text{m}$ i uz donju granicu detekcije $10\text{--}100 \text{ ppm}$ (za elemente od Na do U). Brzim linijskim kretanjem (scanning) točke upada finog elektronskog snopa, koji u uzorku pobuđuje atome prisutnih elemenata na emisiju karakterističnih rendgenskih zraka, na ekranu katodne cijevi dobije se slika raspodjele određenog elementa po površini od stotinu i više μm^2 . Uz te i druge karakteristike mikroanalizator rješava analitičara mnogih teškoća i netočnosti vezanih za separaciju faza prije klasične analize i jako skraćuje vrijeme postupka; s druge strane instrument omogućava determinaciju sastava minerala iz nabrusaka ili mikroskopskih izbrusaka pri veličini čestica od svega nekoliko mikrona; ispitivanja homogenosti sastava minerala, zonarne građe, lamelarnih tekstura te raspodjele primjesa (izomorfnih ili mehaničkih) su na dohvat ruke.

Na Castaingovu sondu mogao bi se nadovezati laserski mikrospektralni analizator za određivanje kemijskog sastava minerala u mikroskopskim preparatima, i to za čestice veće od 10 do $250 \mu\text{m}$. Pod djelovanjem pulzirajućeg laserskog snopa mineralna tvar (oko $1 \mu\text{g}$) ispari, sinhrono se pobudi iskom i spektralno analizira; u području valnih dužina od 200 do 1000 nm može se detektirati oko 60 elemenata od Li do U.

Elektronska mikroskopija i difrakcija pružile su u protekla dva decenija mnogo novih i fundamentalnih informacija o realnoj strukturi minerala. Elektronskooptičke slike (obično se koristi mikroskopija i svijetlog i tamnog polja), temeljene na elektronsko-difrakcijskom kontrastu, dale su obilje podataka o defektima kristala, o submikroskopskim sra-

slacima, o sraštanju (ili možda bolje reći o razdvajanju) plagioklasa po peristeritskom ili Beggildovom tipu, o kriptopertitima, o linijskim defektima, o mehaničkim deformacijama. Posebno zadivljuju uspjesi elektronske mikroskopije visokog razlučivanja (i ispod 2 Å); kontrast tih tzv. slika rešetke («out of focus lattice images»), nastalih kombinacijom dvaju ili više difrakcijskih spektara propuštenih kroz otvor objektiva, tijesno odgovara projiciranoj gustoći naboja u rešetki; kako je ta gustoća periodička, to se i na slikama vidi i može mjeriti periodičnost, ali se vide i greške u slaganju, granice mikrodomena, vakancije i intersticije, izlazi dislokacija i drugi defekti.

Mineralogija raspolaže sa sve više podataka o površinama minerala, znači o najaktivnijim mjestima kod svih kemijskih reakcija. Elektronske mikroskopske slike na osnovi sekundarnih elektrona raspršenih s površine uzorka obasjavanog elektronima («scanning electron microscopy») otkrivaju topografiju površine s razlučivanjem od nekoliko nanometara i s relativno velikom dubinom slike. Struktura i energetske karakteristike površine čistog kristala ili kemisorpcijom nastale faze proučavaju se pomoću ogiba elektrona malih energija, 10—100 eV, mikroskopijom elektrona iznuđenih jakim električkim poljem s površine zagrijanih šiljaka katoda (to su te površine koje se istražuju), ili analognom mikroskopijom iona, kada se dosižu angstromska razlučivanja, pa pojedini atomi postaju direktno vidljivi.

Znatan napredak zabilježen je i kod tehnika i metoda istraživanja koje bi se već mogle nazvati klasičnima. Mikroskopija u prolaznom i vidljivom svjetlu danas raspolaže s nekoliko modela novih jako usavršenih instrumenata s automatikom za mikrofotografiranje i često sa dodatkom za fazno-kontrastnu i interferencijsko-kontrastnu mikroskopiju.

Metode difrakcije rendgenskih zraka, koje su u proteklom periodu vjerojatno najviše pomogle razvoju mineralogije a i svih drugih znanosti koje se bave čvrstim stanjem, stalno se usavršavaju. Difrakcija na polikristalnim materijalima obogaćena je u filmskoj tehnici novim preciznijim kamerama većih mogućnosti i šire namjene te boljim čitačima položaja i intenziteta refleksa; u brojačkoj tehnici napredak treba zahvaliti primjeni kristalnih monokromatora, stabilnijoj i osjetljivijoj elektronici i sve većoj automatizaciji. Istraživanje struktura kristala upravo se rasplamsalo prelazom na (sve bolje i sve pouzdanije) automatske difraktometre za monokristale i na numeričku obradu brojnih podataka mjerenja putem velikih elektroničkih računala; svakako da je uz ovo kao odlučujući bio i razvoj same teorije naročito na problemu određivanja faza refleksa direktnim metodama.

U kvantitativnoj analizi mineralnog sastava važna uloga još uvijek pripada termičkim metodama čija primjena se znatno povećala nakon razrade sistema (kao što je npr. derivatograf) za istovremenu kombiniranu registraciju temperaturno ovisnih promjena nekoliko različitih veličina istog uzorka.

Kod determinacije mineralnih faza, a posebno kod rješavanja nekih suptilnijih strukturnih problema, npr. položaj i uloga vode, stabilnost poliedara, stupanj reda u raspodjeli diadohijski primiješanih iona, sve se

više koristi apsorpcijska spektroskopija infracrvenih valova. Nadalje, u novije doba nisu rijetka rješenja nađena primjenom Mössbauerove rezonancije, nuklearne magnetske ili elektronske spinske rezonancije.

Ovaj letimični pregled nedavnih, često sasvim svježih dostignuća na povećanju i proširenju instrumentalnih mogućnosti, a time i na otvaranju novih vidika i smjernica na putu sve boljeg i svestranijeg upoznavanja prirode minerala, ohrabruje ali i obavezuje i istraživače i planere. Taj razvoj treba što potpunije iskoristiti, jer svijet pri valorizaciji rezultata rada, naročito u ovo doba međunarodne podjele rada i njegovih plodova, znanosti ne priznaje državne granice. Svako zaostajanje skupo se plaća i vrlo teško nadoknađuje. S druge strane, za usvajanje novina i kontinuirano aktivno praćenje razvoja potrebna su znatna sredstva, brojniji specijalizirani kadrovi i odgovarajuća opća klima među stručnjacima najbližih struka i znanstvenih područja, koja će osigurati i razumijevanje novih tendencija i pravovremeno korištenje postignutih saznanja i rezultata.

Prilično se objektivno može ocijeniti gdje smo mi sada s obzirom na kadrovske potencijale, instrumentalnu bazu, postignute rezultate i preduvjete ostvarenja plana razvoja.

Usprkos činjenici da je u struci mineralogija i petrologija od 1950. do sada diplomiralo oko 85 studenata i da se uz to za usmjeravanje na mineraloške probleme mogu regrutirati i kadrovi iz geologije, kemije i fizike, nedostatak znanstveno aktivnih mineraloga već je i za sadašnje potrebe suviše velik, a za budućnost je naročito opasno pomanjkanje mladih istraživača. U doba sve kompliciranijih instrumenata i sve opsežnije teoretske podloge teško se postaje specijalista i jednako teško, uz žrtvovanje i do polovice radnog vremena, održava se adekvatan nivo informiranosti o razvoju tehnike i o novim znanstvenim dostignućima, makar i iz domene uskog interesa, pa se zbog toga mladi teško opredjeljuju za takav rad. S druge strane zna se da je sigurno najsretnije rješenje u tome da stručnjak dobro pozna teoriju i tehniku eksperimenata iz kojega crpi svoje primarne podatke.

Zbog nedostatka instrumenata sasvim smo na početku u mjerenju i znanstvenom korištenju svih onih efekata koji nastaju pri interakciji elektronskog snopa i minerala. Nadamo se da će nedavno nabavljena oprema (Fakultet strojarstva i brodogradnje) omogućiti otvaranje novih područja istraživanja i stimulirati specijalizaciju mladih mineraloga.

Problemi eksperimentalne mineralogije, kao rasta i uzgoj kristala, određivanje područja stabilnosti minerala, ispitivanje reakcijskih odnosa u višekomponentnim sistemima, kod nas su zanemareni, iako je bilo inicijative i prvih iskustava stečenih u inostranstvu.

Malobrojni istraživači, bez obzira na teškoće, nastojali su u proteklom periodu što bolje iskoristiti raspoložive mogućnosti i dati svoj prilog razvitku mineralogije praćenjem dostignuća na metodskom i znanstvenom polju spoznajom i vlastitim doprinosom u obe domene. U tom radu često se nije pazilo na vrijeme; mogli su se upotrebljavati uređaji, čak i potrošni materijal, drugih znanstvenih sredina, tako da prirodna podjela na struke ili institucije nije stvarala realnu prepreku optimalnom korištenju opreme. Neke novije tendencije zatvaranja i izoliranja struka, a ponegdje i dijelova iste struke ali pod različitim »firmama« — najčešće

zbog očuvanja stečenih privilegija (a i zbog ličnih interesa) — treba na vrijeme osujetiti; jednako tako treba spriječiti tendencije k rutinerstvu (makar to bilo rutinerstvo i na najvišem stručno-znanstvenom nivou), jer bez naprezanja i muka ni u znanosti nema rađanja.

Prikaz konkretnih uspjeha bit će vrlo kratak i ograničit će se uglavnom na popis istraženih objekata (a to su mahom pojedini minerali ili asocijacije), te na neke karakteristike i novine u metodama i tehnikama istraživanja; za detaljan izvještaj trebalo bi mnogo više prostora, a i vremena; takav prikaz se uostalom predviđa u »Geologiji Hrvatske«. Zbog sadržajne cjelovitosti i preglednosti u tekstu se ne navode autori i drugi bibliografski podaci; te podatke, osim najnovijih, sadrži rad B. M a g a š: »Geološka bibliografija Hrvatske 1945—1972.«, Zagreb, 1975. Kao dodatni razlog izostavljanju spomenutih podataka bila je i činjenica da je znatan dio priloga mineralogiji sadržan, pa prema tome na neki način i prikriiven, u radovima koji su po svoj primarnoj orijentaciji i po naslovima petrološki, sedimentološki, rudnoležištarski, pa čak kemijski i fizički.

U *pripremi uzoraka*, o kojoj često ovisi uspjeh daljnjih analiza, usvojeni su i poboljšani mehanički ili mehaničko-kemijski postupci dezagregacije vezanih polimineralnih uzoraka: ponegdje je razdvajanje uspjele praktički do osamostaljenja zrnaca pojedinih minerala. U slijedećoj etapi daljnjeg rastavljanja na mineralne frakcije uspješno su se iskorištavale, već prema vrsti uzorka:

— sistematske razlike u veličini čestica pojedinih minerala, te se fraktioniranje vrši paralelno sa granulomterijom, sijanjem ili vremenski kontroliranom sedimentacijom iz vodene suspenzije;

— razlike u gustoći, kada se obogaćivanje postiže separacijom pomoću teških tekućina;

— razlike u magnetskom susceptibilitetu — izodinamičkim separatorom uspjele je kod nekoliko sistema razdvajanje na gotovo čiste monomineralne frakcije.

Pri *određivanju kemijskog sastava* minerala sve više se koriste spektralne metode: spektri plamena, atomsko-apsorpcijski spektri, emisijski spektri, mjerenja ekstinkciji, a uz to i polarografija, kompleksometrija i različiti mikrotestovi za pojedine elemente, bojenje preparata i slično.

Optička istraživanja provodila su se vrlo uspješno. Za veliki broj mineralnih uzoraka određene su i diskutirane njihove optičke konstante, kao indeksi loma, kut optičkih osi, orijentacija indikatriše, pleohroizam, različite disperzije. Osim toga, za razvoj su bili važni i prikazi iz teorije, a na bazi iskustva autora, kao npr. o nagibnim kompenzatorima, o alohromatskim mineralima, o točnom određivanju plagioklasa, o teodolitnoj mikroskopiji, o Winchellovom sistemu poluvaljka i dr.

Pri *izučavanju morfologije kristala* kroz detaljna goniometrijska mjerenja u nekoliko navrata otkriveno je više tipova kristala iste tvari u međusobnom dodiru ili čak preraštanja, npr. kod kalcita i barita iz Donjeg Orešja, kalcita iz Bizeka i Dolja. Ta mjerenja pružila su, uz ostalo, i nove podatke o orijentiranom sraštanju vivijanita i ludlamita iz Trepče, korunda i dijaspora iz Siveza, galenita i arsenopirita iz Trepče, kalcita i dolomita iz Bizeka.

U okviru *difrakcije rendgenskih zraka* na kristaliziranim tvarima razvile su se najmoćnije metode ne samo za istraživanje strukture kristala, nego i za tako elementarna, ali za to i neizbježna određivanja, kao što je identifikacija minerala i kvalitativna do kvantitativna fazna analiza poliminerálnih sistema. Nastojalo se te metode i kod nas što potpunije primijeniti. Nabavljena oprema, osim za istraživanje tekstura i analize kod viših temperatura, zadovoljava asortimanom, ali ne i količinom, pa skućeni instrumentalni kapaciteti ne omogućuju rad svih zainteresiranih a niti eksperimentiranja u okviru nove problematike ili inovacija, ili post-diplomske izobrazbe.

Metodama difrakcije, često u kombinaciji s termičkim, kemijskim i optičkim analizama, istražen je mineralni sastav brojnih i najrazličitijih uzoraka, kao npr., tufovi i tufiti, glinene komponente klastičnih i karbonatnih sedimenata, uzorci tipičnih glina, serpentina, talka i klorita, boksiti, terra rossa, netopivi ostatak vapnenca, oksidni i sulfidni rudni minerali, neke nerudne žilne parageneze, mineralne asocijacije u amfibolitima; identificirani su za nas novi minerali, kao pumpeliit u splitu, vevelit i vedelit u vapnencu, nordstrandit u terra rossi; rješavani su problemi kao interstratifikacija kod glina, trikliničnost mikroklina, zonarnost i stupanj središnjosti strukture plagioklasa, različita mikroproraćtanja, topotaktička i druga potiskivanja. Kvantitativna fazna analiza, uspješno razraćdena za boksit, bezuvjetno se u buduće mora proširiti i na druge sisteme.

Doprinos mineraloga na području analize strukture kristala, čime se kod nas pretežno bave kemićari, bio je u obrazovanju (nastavi) iz strukturne kristalografije i u rješavanju razlićitih struktura kao živa-oksihalogenida i oksicijanida, antimonita, torij-magnezij-nitrata oktahidrata, cink-nitrata dihidrata, bakar piridin-N-oksida nitrata, hidrazinij heksafluorotitanata, cirkonata, kromata i cezij-okso bisoksalato bisakvoniobata.

Popis ostalih istraćenih minerala (kod nekih je bilo istraćeno više uzoraka iz razlićitih nalazišta), najćešće primjenom optićkih i kemijskih metoda analize, vrlo je opsećan i ukljućuje:

— od sulfida: kovelin, realgar, dimorfin, auripigment, lorandit, antimonit, cinabarit, galenit, arsenopirit, molibdenit, stanin, tetraedrit, enargit, lineit, burnonit;

— fluorit;

— okside kao kvarc, korund, anatas, rutil, kasiterit, magnetit, ganit, Cr-spinel, gibsit, dijaspor;

— oksisoli kao sirlesit, celestin, barit, anglezit, gips, anhidrit, ludlamit, vivijanit, šelit, viterit;

— brojne silikate, kao granati, cirkon, disten, andaluzit, silimanit, epidot, pjemontit, hemimorfit, titanit, beril, bustamit, fero-johansenit, karfolit, diopsid, ksonotlit, pektolit, seladonit, glaukonit, pirofilit, muskovit, hidrotinjcji, kaolinit, montmorilonit, hijalofan, sanidin, albit, habazit, lomonit, desmin.

Zakljućujući pregled rezultata i priloga, želim naglasiti da oni potjeću od brojnih autora. Pored Lj. Barića, našeg najstarijeg i najplodnijeg živućeć mineraloga istraćivaća i vrsnog pedagoga, te pokojnog F. Tu-

ćana, to su abecednim redom: A. Bezjak, V. Brajdić, B. Crnković, D. Grdenić, Lj. Golub, P. Jović, I. Jurković, M. Karšulin, V. Majer, Z. Marić, S. Međimorec, J. Pamić, P. Raffaelli, D. Slovenec, O. Šarc-Lahodny, B. Šćavničar, S. Šćavničar, M. Šiljak, D. Šiftar, B. Šinkovec, B. Šturman, M. Tajder, F. Trubelja, M. Vragović, V. Zebec. Nisu uključeni rezultati naših kolega koji se bave istraživanjem čvrstog stanja, prvenstveno strukturom kristala — ti rezultati ne samo da su na izvjestan način obogatili i našu mineralogiju, nego su i direktno stimulirali i potpomagali njen razvoj.

Nadam se da je izvještaj, iako kratak, obuhvatio sve najbitnije u vezi razvoja mineralogije u proteklom periodu i da je istovremeno ukazao na nedostatke i potrebe koje treba imati na umu pri planiranju budućeg rada.