

Geol. vjesnik	30/2	459—476	3 tabele, 7 sl. u tekstu, 2 table	Zagreb, 1978
---------------	------	---------	--------------------------------------	--------------

552.6(161.18.43)

## Meteorit iz okolice Dubrovnika: hondrit L3-6

Georg HOINKES,<sup>1</sup> Gero KURAT<sup>2</sup> i Ljudevit BARIĆ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Mineraloško-petrografski institut, Sveučilište u Innsbrucku, Universitätsstr. 4, A-6020 Innsbruck, Austrija*

<sup>2</sup> *Mineraloško-petrografski odio Prirodoslovnoga muzeja u Beču, Burgring 7, Postfach 417, A-1014 Wien, Austrija*

<sup>3</sup> *Mineraloško-petrografski muzej, Demetrova 1, YU—41000 Zagreb Jugoslavija*

Meteorit od Dubrovnika je hondrit L-skupine. Odlomci stijena i hondre su pretežno »uravnoteženi« (ekvilibrirani); Fa-sadržaj olivina iznosi 23 i Fs-sadržaj ortopiroksena 22. Detaljnom klasifikacijom fragmenata i hondri određeni su petrološki razredi 3—6, dakle oni od »neuravnoteženih« (neekvilibriranih) do »visokometamorfnih«. Nehomogeni i u određenom smislu osebujni značaj meteorita od Dubrovnika naglašen je osobito time što se u njemu nalaze četiri različita piroksena (ortopiroksen, pižonit, augit i diopsid), zatim spineli različitoga sastava (spinel od kromita) kao i time što u njemu nema »uravnoteženih« hondritičnih kromita.

Različite komponente hondrita od Dubrovnika pokazuju strukturne te, u izvjesnom stupnju, također i kemijske karakteristike koje se jasno razlikuju. One su radi toga nastale u različitim okolišima prije nego što su bile ugrađene u impaktnu breču meteorita od Dubrovnika.

### UVOD

Dne 20. 1. 1951. oko 14 sati pao je na mjestu Trnovi Do blizu seoca Molunat, 31 km jugoistočno od Dubrovnika, po kišnom vremenu meteorit koji se u znanstvenoj literaturi vodi pod oznakom meteorita od Dubrovnika. U blizini mjesta, gdje je meteorit pao, čuo se jaki prasak kao da je opalio top protuzračne obrane. Istodobno jedna je žena primijetila kako je u blizini među maslinama pao na zemlju neki predmet. Meteorit se zabio 30 cm duboko u zemlju. Težina mu je iznosila 1,9 kg. Iskopala su ga tri čovjeka i poklonila muzeju u Dubrovniku.

Hey (1966) je klasificirao taj meteorit kao olivinskohiperstenski hondrit; on ujedno navodi da je Game odredio da Fa-sadržaj u olivinima iznosi Fa<sub>24</sub>. Radi se prema tomu o meteoritu L-skupine.

Zbog brečastoga karaktera meteorita, te prisutnosti hondri i fragmenata različite petrografske građe, pa prema tomu i različitih »petroloških tipova« po van Schmusu & Woodu (1967), meteorit od Dubrovnika izgleda zanimljivim s obzirom na klasifikaciju i postanak; radi toga se ukazala opravdanom potreba da se na njemu izvrši iscrpno petrografsko, mineraloško i kemijsko istraživanje.

U tu svrhu bila su priređena tri izbruska; dva su načinjena od dijelova u kojima preteže hondritna osnova, dok se treći sastoji uglavnom od svijetloga fragmenta.

Prikaz koji slijedi zasniva se uglavnom na analizama, izvršenim pomoću elektronske mikroskopske. One su bile urađene pomoću instrumenta tipa ARL-EMX. Radilo se uz uvjete 15 kV napetosti ubrzanja i  $1-2 \times 10^{-8}$  A. Određivanja su izvršena pomoću mineralnih standarda. Potrebne korekture bile su izračunane prema Benceu & Albee (1968).

## OPIS

Meteorit od Dubrovnika je kompaktan sivi hondrit. Makroskopski se mogu raspoznati mnogi svijetli fragmenti stijena, veliki od nekoliko mm do nekoliko cm, koji su uloženi u tamniju hondritičnu osnovu sa hondrama velikim do 2 cm (tabla 1). Granice odlomaka stijena jasno su uočljive zbog svojega svjetlijega obojenja. Oni su gotovo u potpunosti kristalizirani, pokazujući često metamorfnu (»granulitnu«) strukturu. Uz to se nalaze porfirni fragmenti sa finokristalastom do staklastom osnovom. Relativno rijetko se nalaze ekstremno finoizrnatni do finovlaknati fragmenti.

Tipično je da hondre nisu vrlo česte, a djelomice ih se može teško prepoznati jer su često sasna srasle s osnovom. Gdje su hondre su, međutim, okružene tamnim ovojem — slično kao u neuravnoteženim hondritima — i zbog toga ih je lako prepoznati. Pretežnim dijelom hondre imaju porfirnu strukturu; pri tom utrusci različite veličine leže u finoizrnatnoj do staklastoj osnovi. Uz visoki omjer utrusaka prema osnovi ukazuje se mozaična struktura koja je vrlo slična strukturi nekih fragmenata. Uz porfirne hondre nalaze se osobito upadljive tamne finovlaknate piroksenske hondre te hondre sa stubićastim olivinom. Ove posljednje nalaze se prigodice i u fragmentima.

Hondrit od Dubrovnika je — u cjelini uzevši — vrlo sličan meteoritu od Siene (Kurát & al., 1969). Njegova struktura kao i tipične metamorfne strukture fragmenata slične su strukturama koje su tipične za hondrite LL-skupine (Fredriksson & al., 1968).

### Opis hondri i fragmenata ispitanih do u pojedinosti

1. *Hondre*: kudikamo najčešći tip hondri su porfirne hondre. Sa porastom omjera utrusak/osnova struktura postepeno prelazi u mozaičnu strukturu. Uz opadanje broja utrusaka povećava se prisutnost staklaste osnove. Nalaze se nadalje hondre sa stubićastim olivinom koje katkada (Ch8/1) sadrže crvenkasto staklo.

Vrlo česte su također finovlaknate do kriptokristalaste hondre piroksena.

Hondre su najčešće na jednom ili na više mjesta srasle s osnovom. Izuzeci u tom pogledu su samo finovlaknate piroksenske hondre i neke porfirne hondre koje su okružene ovojem finoizrnatne tamne osnove. Od

faza se pojavljuju: olivin, ortopiroksen, klinopiroksen, staklo i opaki minerali (kromit, troilit i nikalno željezo). Sastav silikatnih faza može biti konstantan, ali može i kolebati od zrna do zrna ili unutar pojedinih zrna (zonarna građa). Od klinopiroksena pojavljuju se kako diopsid (često kao ovoj oko olivina i ortopiroksena), tako i augit.

Spineli se javljaju — s obzirom na svoj sastav — u cjelokupnom području od kromita do spinela u strogom smislu riječi.

2. *Odlomci stijena*: ti odlomci javljaju se u svim veličinama, koje iznose i više centimetara (isporedi tablu 1). Premda ih je makroskopski lako prepoznati, njihove se konture u mikroskopu mogu samo nejasno uočiti radi intenzivnoga srastanja sa hondritnom osnovom. Struktura fragmenata je većinom porfirna, ali se nalaze svi prelazi prema granulitnoj (dakle metamorfnoj) strukturi.

Osnova fragmenata stijena može biti nazočna kako u obliku devitriciranoga stakla tako i (u vrlo brojnim slučajevima) u obliku finovlaknatih kristalita. Kao utrusci pojavljuju se idiomorfni olivini i pirokseni koji su često ovijeni diopsidom (npr. F8/1, tabla 2, sl. 2).

Fragmenti stijena sa kornitom do granulitnom strukturom prosječno su finijega zrna nego porfirni fragmenti. Tu su sve faze ksenomorfne. Uz olivin, ortopiroksen i klinopiroksen nalaze se u metamorfnim fragmentima uvijek kromit, plagioklas i fosfat. Ti fragmenti su često izrazito primjetljivo okruženi finoizrnatom, tamnom osnovom. Relativno česti tip fragmenata su fosfatni fragmenti koji sadrže u sebi tek oskudno pojkilitnoga silikata i kromita. Vrlo često nalaze se i finovlaknasti fragmenti koji su izgrađeni bilo od olivina ili od piroksena bilo od obaju zajedno u radijalnotrakastom ili paralelnotrakastom poretku.

U tim fragmentima često se opaža neobičan slijed kristalizacije: ortopiroksen se kao najraniji kristalizat pojavljuje u obliku krupnih stupića i tek u osnovi fragmenata opaža se olivin s ortopiroksenom, diopsidom i plagioklasom.

Rijetki tipovi fragmenata su veliki fragmenti troilita, nikalnoga željeza i silikata te kriptokristalasti fragmenti kromita, plagioklasa i piroksena koji su slični fragmentima opisanim već iz drugih hondrita (Ramdohr 1967, Kurat & al. 1969).

3. *Tamna osnova*: neke hondre i fragmenti okruženi su finoizrnatim, tamnosmeđim ovojem (tabla 2, sl. 3) koji je vrlo sličan ugljevitim osnovama u »neuravnoteženim« hondritima, ali izgleda ipak nešto krupnije zrnat, dakle rekristaliziran. Sastav te tamne osnove u meteoritu od Dubrovnika (tab. 1) je vrlo sličan osnovi hondrita L-skupine. I sadržaji sporednih elemenata leže najvećma u paušalom području L-hondrita. Jedini izuzetak je sadržaj  $K_2O$  koji je u osnovi dvostruko uvećan. Nasuprot ugljevitim osnovama u neuravnuteženim hondritima (isporedi Kurat, 1970) osnova u dubrovačkom meteoritu je zbog visoke sume u analizi bez vode.

## Mineralogija

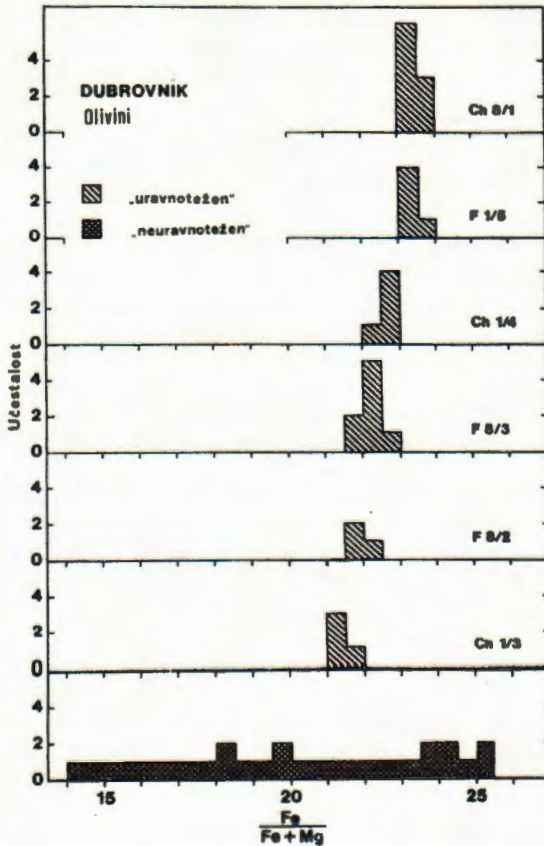
1. *Olivin*: sastav olivina uz male izuzetke tek neznatno varira. Fasadržaj koleba bez obzira na to, gdje se olivini nalaze, od 21 do 25% mol. (sl. 1 i tab. 1). Prema tomu hondrit od Dubrovnika treba uvrstiti u L-skupinu.

Tabela 1. Odabrane analize različitih faza iz hondrita od Dubrovnika, izvršene pomoću elektronske mikrosone. 1: tamna osnova oko hondri i fragmenata. 2: prosjek od 25 »uravnoteženih« olivina. 3: zonarni olivin u Ch 1/2. 4: prosjek od 13 »uravnoteženih« ortopiroksena. 5: zonarni ortopiroksen u hondri 1/2. 6: modrikasti pižonit u fragmentu F 8/2, bogatom na fosfatima. 7: intermedijarni klinopiroksen u porfirnom fragmentu F 8/1. 8: zonarni augit u hondri 1/2. 9: augit u hondri 5/1. 10: diopsid iz ovoja oko ortopiroksena u porfirnoj hondri 1/5. 11: staklo u hondri 8/1.

	1	2	od 3	do	4	od 5	do	6	7	od 8	do	9	10	11
SiO <sub>2</sub>	39,2	39,2	39,2	37,8	55,8	57,2	56,7	57,1	56,5	49,2	50,7	51,0	55,0	61,9
TiO <sub>2</sub>	0,11	0,09	n. b.	n. b.	0,09	0,09	0,09	0,15	0,23	0,83	0,30	2,25	0,30	0,66
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,58	—	n. b.	n. b.	0,12	0,34	0,41	0,05	0,06	8,8	6,8	5,0	0,55	22,2
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,46	0,14	n. b.	n. b.	0,15	0,45	0,45	0,14	0,10	2,44	1,13	0,59	0,77	0,74
FeO*	27,0	21,4	14,2	23,3	14,4	3,7	10,4	12,7	9,7	2,20	2,53	5,1	4,7	2,07
MnO	0,50	0,45	0,12	0,47	0,44	0,31	0,50	0,47	0,33	0,73	0,93	0,20	0,10	0,06
MgO	26,3	40,2	44,8	37,6	29,1	36,7	30,6	27,8	23,1	14,7	19,8	16,0	15,7	0,96
CaO	1,74	0,19	0,12	0,14	0,80	0,60	0,88	2,93	8,2	19,3	15,9	19,2	22,1	1,09
Na <sub>2</sub> O	1,07	n. b.	n. b.	n. b.	—	0,12	0,15	0,10	—	0,30	0,29	—	—	9,7
K <sub>2</sub> O	0,28	n. b.	n. b.	n. b.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,43
Suma	97,24	101,67	98,44	99,31	100,90	99,51	100,18	101,44	98,22	98,50	98,38	99,34	99,22	99,81

\* cjelokupno željezo iskazano kao FeO

Sastav olivina unutar jednoga fragmenta ili jedne hondre je u pravilu stalan. U različitim fragmentima i hondrama sastav olivina je, međutim, ponešto različit. Izuzetak od toga predstavljaju samo neke hondre i mali fragmenti u osnovi hondrita. Tako su se npr. u hondri 1/2 nalazili olivini kojima sastav u zonarnoj građi koleba od Fa 15 do Fa 25 (tab. 1). U hondri 1/5 je sastav pojedinih olivinskih zrna doduše konstantan, ali se on od zrna do zrna ipak mijenja u rasponu od Fa 14 do Fa 24.



Sl. 1. Kolebljivost za atomarni odnos  $\frac{\text{Fe}}{\text{Fe} + \text{Mg}}$  (u %) u olivinima »uravnoteženih« i »neuravnoteženih« hondri i fragmenata.

2. *Pirokseni*: u dubrovačkom hondritu nalaze se četiri različita piroksena: ortopiroksen, pižonit, augit i diopsid (tab. 1, sl. 3). U nekim fragmentima i hondrama nalaze se zajedno do tri različita piroksena.

Ortopirokseni imaju konstantan sastav samo u nekim holokristalnim fragmentima (npr. F8/5). Njihov molekularni omjer  $\frac{\text{FeO}}{\text{FeO} + \text{MgO}}$  iznosi tada 20 do 24%.

Mnogo češće pokazuju ortopirokseni zonarnu građu, razvijenu u jačem ili slabijem stupnju sa različitim opsegom u promjeni sastava. Tako su npr. bile jedanput opažene zonarne izmjene  $\frac{\text{FeO}}{\text{FeO} + \text{MgO}}$  od 5 do 14%, a drugi put od 13 do 19% (sl. 2, 3). Pri tom se uz porast sadržaja FeO uvijek opaža i porast CaO-sadržaja do preko 1% uteznih. Ortopirokseni sa jako izraženom zonarnom građom okruženi su najvećma uskim ovjima klinopiroksena.

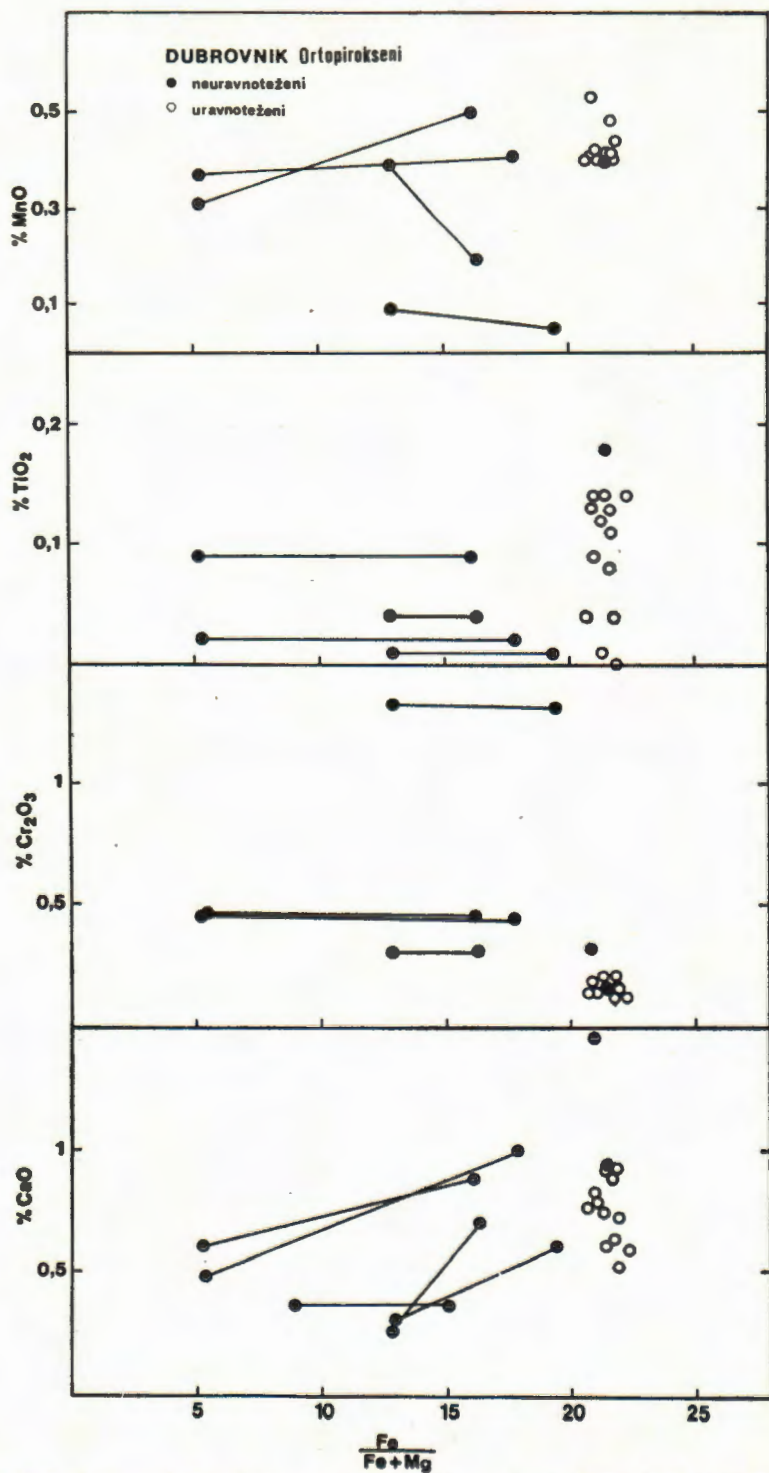
»Uravnoteženi« i »neuravnoteženi« ortopirokseni razlikuju se jasno i u sadržaju sporednih elemenata. Vrlo jasno je izražena ta razlika u  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -sadržaju (sl. 2); on u »uravnoteženim« ortopiroksenima iznosi do 0,2% uteznih, dok u »neuravnoteženim« može doseći čak i preko 1% uteznih. Osim za Ca ne opaža se na određivanim sporednim elementima nikakva ovisnost koncentracije od Fs-sadržaja. Količine MnO i  $\text{TiO}_2$  variraju osobito u »neuravnoteženim« ortopiroksenima. Varijabilnost  $\text{TiO}_2$ -sadržaja u »uravnoteženim« ortopiroksenima mogla bi odgovarati statističkoj pogrešci u mjerenju radi maloga sadržaja, budući da nismo pokušali da tu pogrešku smanjimo dužim vremenom brojanja.

Klinopirokseni se nalaze kao ovoj oko ortopiroksena i olivina ili kao zasebna zrna u osnovama porfirnih fragmenata i hondriti te u krupno-kristalastim »uravnoteženim« metamorfnim fragmentima. Sastav koleba u širokom području (sl. 3 i 4). Zonarno građeni endiopsidi do diopsidi čine često ovoje oko ortopiroksena i olivina. U osnovama se nalaze augiti i pižoniti varijabilnoga sastava. U metamorfnim »uravnoteženim« fragmentima pojavljuje se diopsid.

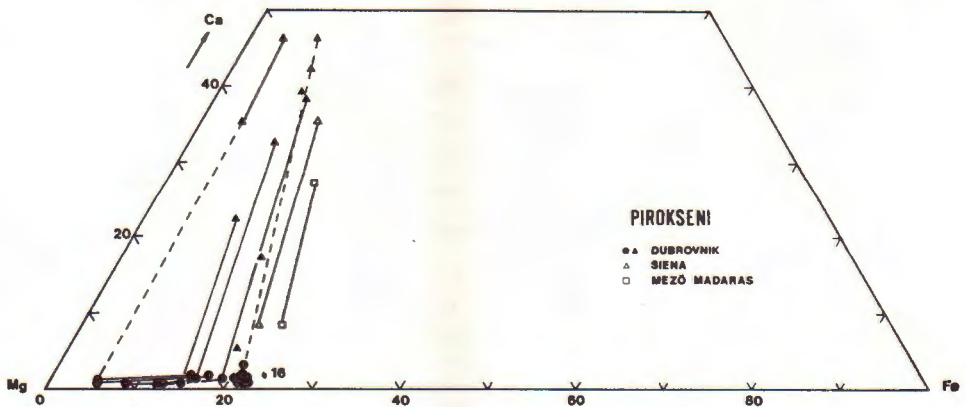
Zonarno građeni klinopirokseni pokazuju često — kako je to već opisano za hondrit iz Siene i Mezö-Madarasa (Kurat 1967, Kurat & al. 1969) — »ravnotežu« u Fe-Mg-raspodjeli. Odnos Mg/Fe za klinopiroksen ostaje pri tom uz promjenljivi sadržaj CaO konstantan ili se malo mijenja u korist Mg, kako to odgovara ravnotežnoj raspodjeli između kalcijem siromašnih i kalcijem bogatih piroksena.

Uz sadržaj CaO variraju osobito sadržaji  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , MnO i  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (tab. 1 i sl. 4). U »uravnotežnom« koegzistentnom paru ortopiroksen-klinopiroksen odgovara raspodjela MnO,  $\text{TiO}_2$  i  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  raspodjelama u stanju ravnoteže, kako su one poznate iz zemaljskih stijena (isporedi npr. Jackson & Wright 1970, Kurat 1971). Pri tom Mn pokazuje više sklonosti za ortopiroksen, a Ti i Cr za klinopiroksen. »Neuravnoteženi« parovi ponašaju se pri raspodjeli Ti i Cr slično kao i »uravnoteženi« parovi, samo uz numerički različite koeficijente raspodjele. Pri raspodjeli Mn između »neuravnoteženih« kalcijem siromašnih i kalcijem bogatih piroksena dominira posve drugačiji smisao. Mn pri tom pokazuje više sklonosti prema kalcijem bogatom piroksenu.

3. *Spineli* se nalaze u hondritu od Dubrovnika praktično u svim sastavima izomorfno niza spinel-kromit (tab. 2 i sl. 5). Kromit je neobično čest. U porfirnim fragmentima i hondrama kromit se nalazi najčešće uprskan u obliku malih ksenomorfnih zrna u osnovi. Rjeđe je kromit uklopljen u olivinu. Krupnozrnati kromiti javljaju se u metamorfnim fragmentima i u osnovi hondrita, gdje se kadšto nalaze vrlo veliki fragmenti kromita. Kemizam kromita u hondritu od Dubrovnika ne odgovara



Sl. 2. Sadržaji sporednih elemenata za kalcijem siromašne piroksene u hondritu od Dubrovnika u zavisnosti od atomarnoga  $\frac{\text{Fe}}{\text{Fe} + \text{Mg}}$  (u %). Spojene točke predstavljaju ekstremne sastave u zonarno građenom piroksenu.



Sl. 3. Pirokseni u hondritu od Dubrovnika projicirani u sistemu Mg—Fe—Ca (atomarno): ———: zonarna građa; - - - - -: pirokseni u koegzistenciji. Poredbe radi uneseni su i pirokseni iz hondrita od Siene (Kurat & al. 1969) i Mező-Madarasa (Kurat 1967).

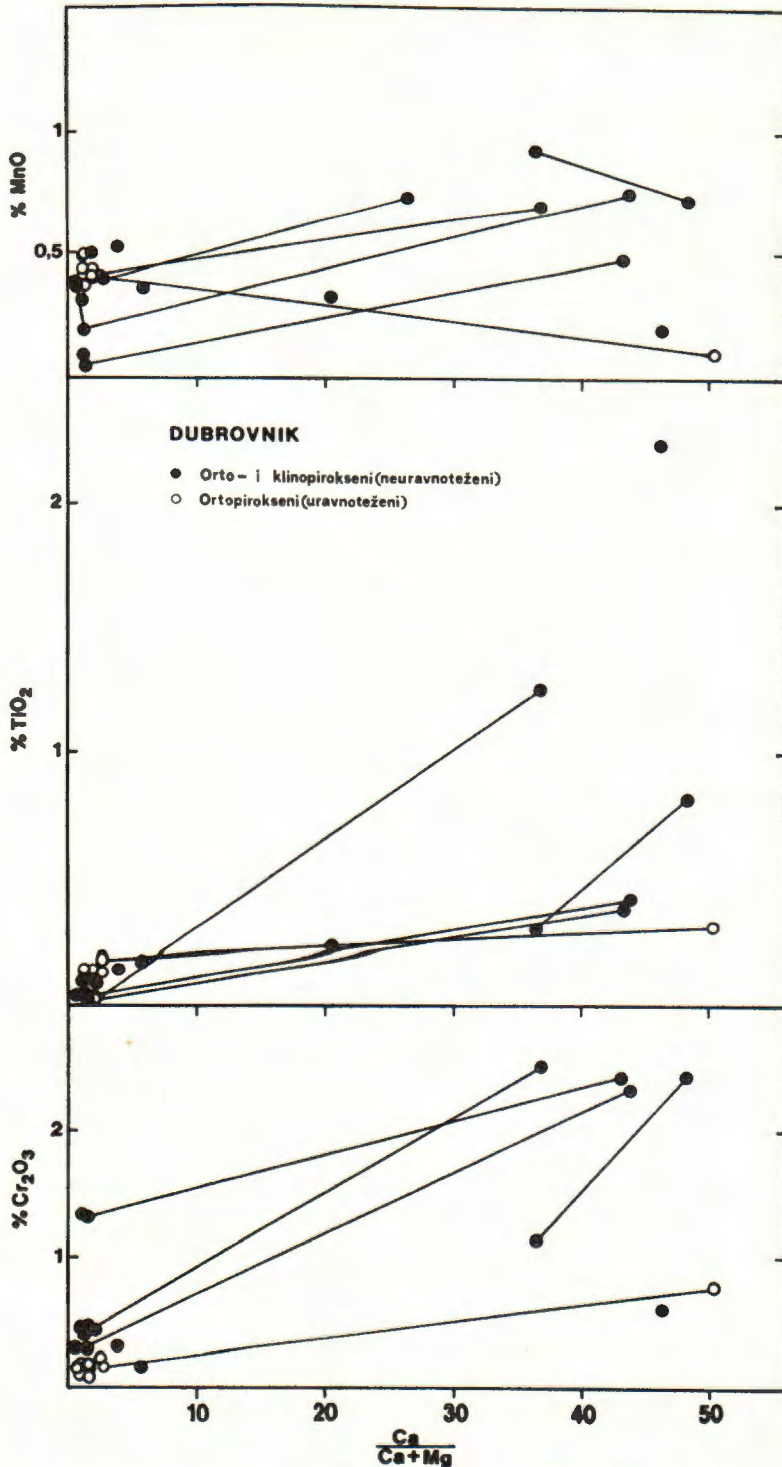
kemizmu kromita iz običnih »uravnoteženih« hondrita (Bunch & al. 1967, Hoinkes & Kurat 1974, Fudali & Noonan 1975). Kromiti iz dubrovačkoga hondrita su očigledno siromašniji na Fe i bogatiji na Mg (sl. 5). Uz to sadržaj kroma varira u kromitima iz dubrovačkoga hondrita, dok je on naprotiv u kromitima »uravnoteženih« običnih hondrita konstantan. Kromiti u dubrovačkom hondritu su uz to prosječno nešto bogatiji kromom nego kromiti običnih hondrita i u tom

Tabela 2. Odabrane analize spinela iz hondrita od Dubrovnika, izvršene pomoću elektronske mikroskopske. 1: kromiti u fragmentima i hondrama. 2: zonarni kromni spinel u fragmentu F 8/4. 3: kromni spinel u fragmentu F 8/3. 4: spinel u hondri Ch 5/1.

	1		2		3		4
	od	do	od	do	od	do	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	58,9	53,8	42,6	16,0	55,3	30,2	2,98
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,8	5,5	20,1	49,2	8,3	34,6	63,3
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,08	1,17	0,78	0,28	0,57	0,38	0,75
TiO <sub>2</sub>	1,50	2,96	2,54	0,62	1,73	0,54	0,11
FeO*	28,4	31,3	26,9	18,6	29,2	24,8	15,7
MgO	3,2	3,5	6,8	14,1	4,1	9,0	18,5
MnO	0,28	0,28	0,21	0,12	0,26	0,15	0,06
ZnO	1,27	0,16	0,53	0,42	—	1,03	—
Suma	98,43	98,67	100,46	99,34	99,46	100,70	100,40

\* Cjelokupno željezo iskazano kao FeO





Sl. 4. Sadržaji sporednih elemenata za piroksene u hondritu od Dubrovnika u ovisnosti od atomarnoga odnosa  $\frac{Ca}{Ca + Mg}$  (u %).

su pogledu slični nekim kromitima iz »neuravnoteženoga« hondrita Mezö-Madaras (Hoinkes & Kurat 1974). Sadržaji sporednih elemenata u kromitima ukazuju se vrlo različitim (sl. 6). Mn i V su raspodijeljeni vrlo jednoliko, dok sadržaji Zn i Ti variraju u širokom području. Sadržaji cinka kolebaju kojekako, bez ikakve pravilnosti između 0,1 i 1,3% uteznih. Kod Ti se opaža tendencija prema opadanju sadržaja titana sa porastom sadržaja kroma — slično kao u kromitima iz hondrita Mezö-Madaras (Hoinkes & Kurat 1974).

*Intermedijarni spineli* bili su utvrđeni u jednom fino-zrnatom spineloplagioklasnom te u jednom rekristaliziranom fragmentu, okruženi koronom olivina i plagioklasa.

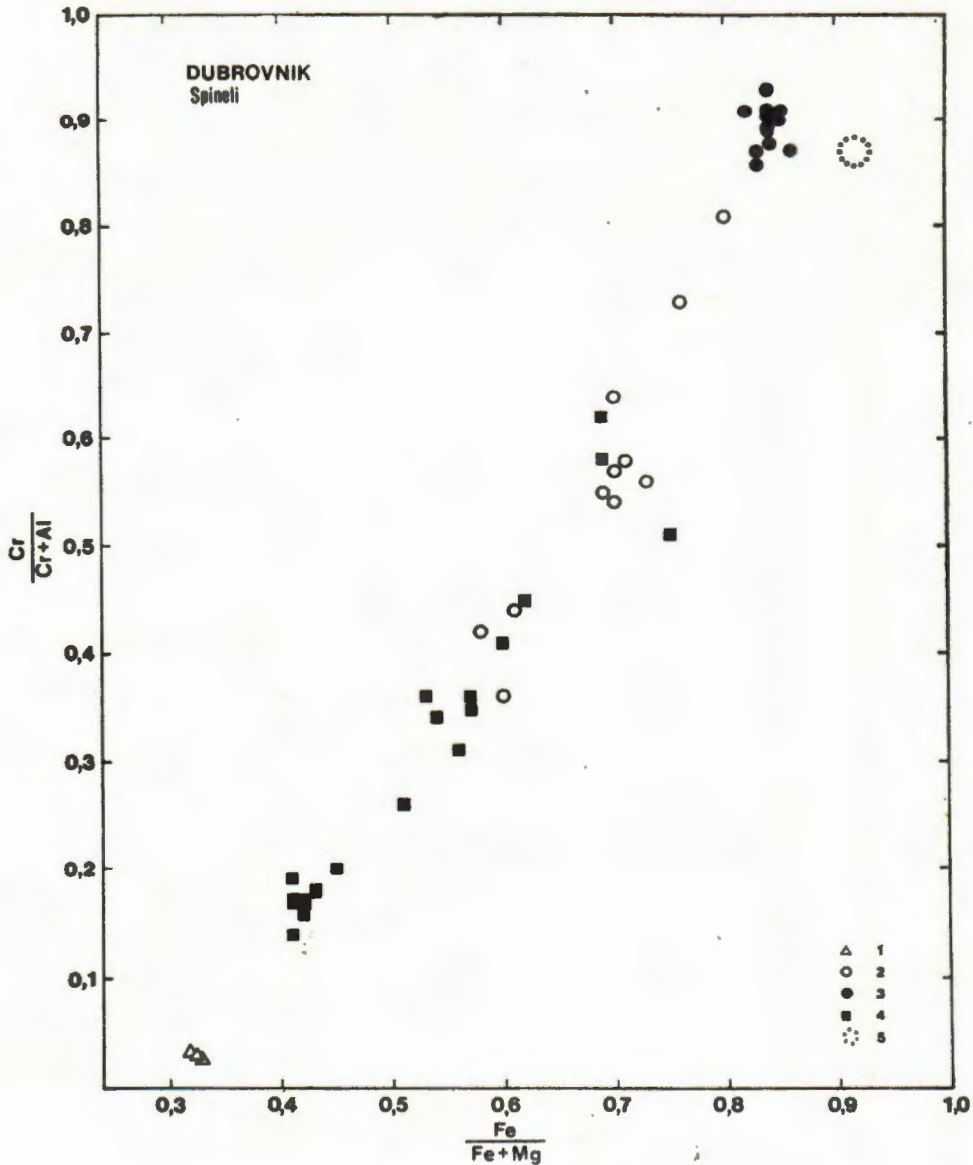
Spineloplagioklasni fragment sastoji se od sitnozrnate smjese plagioklasa i spinela te nešto olivina u podređenoj količini. Uz veće partije plagioklasa u tom se fragmentu nalaze veliki hipidiomorfni zonarni spineli koji u prolaznoj svjetlosti izgledaju crveno prozirni do opaki. U zonarnoj građi ide sadržaj  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  od 16,1 do 42,6% uteznih. Pri tom se povećavaju Fe-, Mn-, V- i Ti-sadržaji kontinuirano sa povećanjem Cr-sadržaja (sl. 5 i 6). Zn-sadržaji su vrlo različiti; oni kolebaju — više ili manje neovisno od Cr-sadržaja — između 0 i 2,8% uteznih za ZnO.

Intermedijarni spinel je u jednom metamorfnom fragmentu okružen reakcionom koronom od olivina konstantnoga sastava sa nešto plagioklasa. Spinelu su providni u smeđoj boji do opaki. U zonarnoj građi ide  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ -sadržaj od 30,2 do 55,3% uteznih. I tu su sporedni elementi Mn, V i Ti pozitivno korelirani prema sadržaju kroma, premda na jedan drugi način. Ponešto nepravilno ponaša se Zn, kod kojega se ipak opaža smanjivanje sadržaja sa porastom Cr-sadržaja.

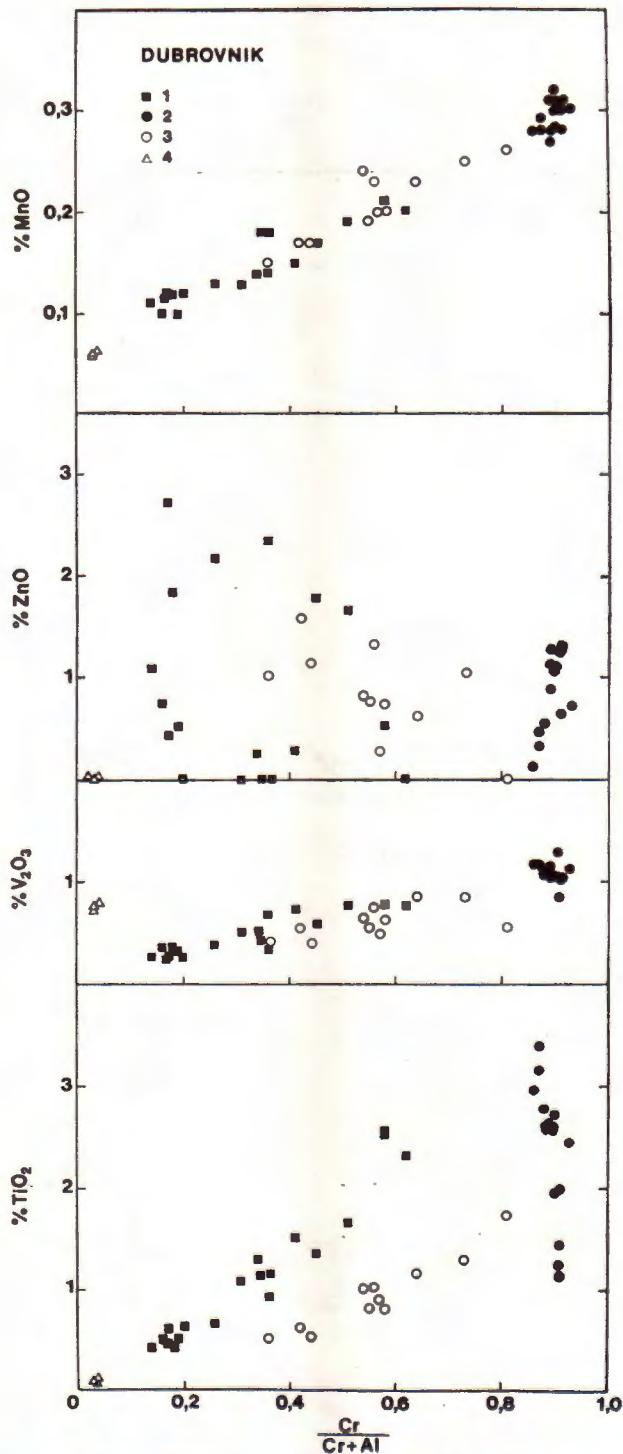
Dva kromom bogata kristala iz toga područja sadrže ilmenitne lamele izdvajanja koje su, međutim, pretanke za kvantitativnu analizu. Možda se nešto manji porast u Ti-sadržaju tih kromita sa njihovim Cr-sadržajem mora svesti na izlučivanje ilmenita.

*Spinel* u užem smislu riječi nađen je samo u jednoj hondri. Ta hondra ima ponešto neobičan sastav; ona se sastoji od pojedinih ksenomorfni olivina (konstantnoga sastava) sa velikim augitima koji sadrže titana (2,3% uteznih  $\text{TiO}_2$ ) i od velikoga hipidiomorfna spinela u kriptokristalastoj osnovi, prozirnoga u crvenoj boji. Sastav toga spinela je gotovo konstantan sa prosječnim sadržajem od 3% uteznih  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Sadržaji sporednih elemenata djelomično su u skladu s općim smislom izmjena za (Mn, Ti) (sl. 6), ali se djelomično ponašaju potpuno samostalno. Neobično je to da cinka nema; to bi imalo prije svega ukazivati na općenitu tendenciju kod spinela bez kroma kako se to npr. i ustanovilo u hondritu Mezö-Madaras (Hoinkes & Kurat 1974). Slično iz uobičajenoga okvira ispada i sadržaj vanadija; on je znatno viši nego što bi to inače trebalo biti.

4. *Fosfati* se pojavljuju u fragmentima krupno kristaliziranih metamorfni stijena kao veliki, nepravilno ograničeni odlomci i kao ulošci između ostalih sastojaka. Unutar fosfatnih agregata ne opažaju se granice među pojedinim zrnima. Potamnjenje među ukrštenim nikolima nastupa uvijek istodobno. Nakupine fosfata sastoje se često od dvije faze: od klorapatita i uitlokita.



Sl. 5. Projekcija (atomarno) u koordinatnom sustavu  $\frac{Cr}{Cr+Al}$  i  $\frac{Fe}{Fe+Mg}$  za kemizme spinela u hondritu od Dubrovnika. 1: spineli u hondri Ch 5/1. 2: kromom bogati spineli u fragmentu F 8/3. 3: »uravnoteženi« kromiti u fragmentima i hondrama. 4: zonarni intermedijarni spineli u fragmentu F 8/4. 5: kromiti u »uravnoteženim« hondritima (Bunch & al. 1967, Hoinkes & Kurat 1974).



Sl. 6. Sadržaji sporednih elemenata (utezni % za MnO, ZnO, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i TiO<sub>2</sub>) za spinele u dubrovačkom hondritu u ovisnosti od atomarnoga  $\frac{Cr}{Cr+Al}$  1: zonarni intermedijarni spineli u fragmentu F 8/4. 2: »uravnoteženi« kromiti u fragmentima i hondrama. 3: kromom bogati spineli u fragmentu F 8/3. 4: spineli u hondri Ch 5/1.

Izuzevši sadržaj silicija, analize *klorapatita* (tab. 3) potpuno odgovaraju analizama poznatim iz drugih hondrita (van Schmus & Ribbe 1969; Ribbe 1969; Fuchs 1969; Lange & al. 1973). Sadržaji  $\text{SiO}_2$

Tabela 3. Analize fosfata iz hondrita od Dubrovnika, izvršene pomoću elektronske mikrosone.

	Cl-Apatit F 5/3	Cl-Apatit F 5/1	Uitlokit F 5/1
$\text{P}_2\text{O}_5$	41,3	41,9	45,4
$\text{SiO}_2$	1,47	1,24	1,23
$\text{FeO}^*$	0,47	0,44	0,69
$\text{MgO}$	0,45	0,41	3,71
$\text{CaO}$	52,4	53,2	46,0
$\text{Na}_2\text{O}$	0,45	0,45	2,14
$\text{K}_2\text{O}$	0,10	0,11	0,19
F	0,51	0,45	0,18
Cl	4,8	4,9	0,06
O F, Cl	1,29	1,30	0,09
Suma	100,66	101,80	99,51

\* Cjelokupno željezo iskazano kao  $\text{FeO}$

u apatitima iz dubrovačkoga hondrita iznose preko 1% uteznih i oni se moraju označiti kao vrlo visoki; s obzirom na krupnoću zrna, ispitanih pomoću mikrosone, oni se moraju međutim smatrati realnima. *Uitlokit* (tab. 3) se razlikuje, u poredbi sa podacima koji za nj postoje u literaturi (op. cit.), također po svom visokom  $\text{SiO}_2$ -sadržaju od preko 1% uteznih.

5. *Plagioklas* se često nalazi u metamorfnim fragmentima te srašten sa Cr-spinelom. S obzirom na sastav, bez obzira na to u kojem se dijelu hondrita on nalazi, radi se o plagioklasu  $\text{Ab}_{84}\text{An}_{11}\text{Or}_5$ . Taj se sastav podudara sa sastavom plagioklasa iz običnih hondrita (van Schmus & Ribbe 1968).

6. Od ostalih faza određeni su kamacit, tenit i troilit. Oni su utvrđeni samo optičkim ispitivanjima; kemijske analize od njih nisu vršene.

#### DISKUSIJA

Dubrovački hondrit je hondrit L-skupine; njegovi sastojci mogu se svrstati u petrološke tipove L3 do L6 (van Schmus & Wood 1967). Preteže materijal tipa 5. Komponente tipa 3 sa zonarnim silikatima i staklom su rijetke. Česti su fragmenti tipa 6, kojima struktura podsjeća na tip 7 (Dod 1972). Ortopirokseni u tim fragmentima ne-

maju ipak onoliko visoki CaO-sadržaj kako bi to bilo potrebno za klasifikaciju kao tip 7. Ojednako kompleksni hondriti kao hondrit od Dubrovnika bili su već opisani (npr. onaj od Siene: Kurat & al. 1969, pa onaj od St. Mesmina: Dodd 1974); bit će ih sigurno i u budućnosti.

Osobito je zanimljiva činjenica da se olivini i kalcijem siromašni pirokseni u dubrovačkom hondritu pretežno pojavljuju kao »uravnoteženi«, ali da je »ravnotežni sastav« tih faza u raznim komponentama različit (isp. sl. 1). Ta činjenica uz koegzistenciju različitih petroloških tipova dokazuje da su pojedine komponente hondrita zadobile svoju karakterističnu strukturu i kemizme faza prije svoje ugradnje u dubrovački primjerak.

Od osobitoga je značenja također pojava — iako u oskudnoj količini — tamne, sitnozrnate osnove koja okružuje neke fragmente i hondre. Usprkos svoje lomljive konzistencije ona je u svim slučajevima potpuno sačuvana te se nisu mogli primijetiti u njoj tragovi razbijanja u značajnijoj mjeri. Ti fragmenti i hondre ne mogu radi toga potjecati također ni iz nekoga »neuravnoteženoga« ili ugljevitoga hondrita. Ovoj osnove mora da je, što više, oko tih komponenata nastao prije ugradnje u stijenu, dok su one još bile slobodno pokretljive. To bi se moglo dogoditi kako u oblaku prašine, tako i u regolitu. Sastav ukazuje iznad svega na prvu mogućnost. Tamna osnova odgovara s obzirom na svoj paušalni sastav L-hondritu. Po tomu se ona na koncu konaca razlikuje od sličnih osnova u »neuravnoteženim« hondritima u kojima osnove radi pokretanja tvari — većinom hidrotermalne prirode — imaju jasno izmiješani sastav (Kurat 1970). Izgleda nadalje da je stupanj oksidacije u tamnoj osnovi — koliko to možemo ocijeniti uz pomoć sredstava koja nam stoje na raspolaganju — znatno viši od toga stupnja za paušalni hondrit. Nastanak zbog adhezije prašine u regolitu izgleda radi toga nevjerovatan. Nagomilavanje prašine moralo je prema tomu uslijediti prije okupljanja ili aglomeracije iz oblaka prašine u kojemu je stupanj oksidacije u poredbi sa fragmentima i hondrama bio znatno viši. Možda je ta prašina neprerađeni ostatak ishodnoga materijala fragmenata i hondri. Mehanizam nastajanja je još sasvim nejasan; on je, međutim, zasigurno specifičan za procese koji se zbivaju pri genezi hondrita. To dokazuju mnogi fragmenti i hondre, okruženi od tamne osnove, u »neuravnoteženim« hondritima te hondre i fragmenti ugljevitih hondrita »u obliku snježnih kuglica«.

Premda dubrovački hondrit sadrži komponente svih petroloških hondritnih tipova, svi su spineli »neuravnoteženi«. Kromiti nisu također izuzetak u tom smislu. Oni su siromašniji u sadržaju MnO i FeO nego kromiti »uravnoteženih« L-hondrita (Bunch & al. 1967), pokazujući preveliku varijabilnost u sadržajima  $TiO_2$  i  $Al_2O_3$  (tab. 2). Ti odnosi u potpunoj su suprotnosti prema drugim hondritima u kojima su doduše bili nađeni »neuravnoteženi« spineli, ali oni sadrže uglavnom »uravnotežene« kromite (Hoinkes & Kurat 1974, Fudali & Noonan 1975). Hoinkes & Kurat (1974) su promjenljive kemizme spinela u »uravnoteženom« dijelu hondrita od Mezö-Madarasa sveli na različite paušalne kemizme fragmenata i hondri u kojima su sadržani spineli.

Istovremeno se za promjenljivi kemizam spinela smatralo da ukazuje na to, kako »uravnoteženje« hondrita nije bilo prouzročeno termalnom metamorfozom. Nasuprot tomu su Fudali & Noonan (1974) smatrali da su slični nehomogeni spineli u hondritu od Gobabeba u toku jedne termometamorfoze bili samo nepotpuno »uravnoteženi«. Visoka varijabilnost sadržaja ZnO i TiO<sub>2</sub> u kromitima i u kromom vrlo siromašnim spinelima iz hondre 5/1 u protivnosti je, međutim, sa tim. Taj spinel je bogat na V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, ali u njemu nema ZnO. Njegov sastav je bio jednoznačno uobičen i određen odgovarajućim okolišem. Isto to vrijedi za sve istražene spinele, ako se specijalno razmatraju vrlo kolebljivi sadržaji ZnO i TiO<sub>2</sub> (sl. 6). Spinel iz hondre 5/1 predstavlja u svakom slučaju, na temelju svoga sastava, strano tijelo iz drugoga nekoga okoliša. On bi mogao biti jedan od rijetkih restita ishodnoga materijala pri nastajanju hondri i fragmenata (isporedi također Hoinkes & Kurat 1974).

Ovakvo gledanje slaže se dobro sa mišljenjem Osborna & al. (1974) koji su na temelju podataka o elementima, sadržanim u tragovima u hondrama, zaključili da su hondre nastale istaljivanjem prašine. U spinelu hondre 5/1 nema uz to ZnO, a to bi moglo ukazati na srodstvo sa stijenama, osiromašenim na hlapljivim elementima.

Hondrit od Dubrovnika je, prema tomu, breča koja sadrži stijene i impaktne produkte različitoga porijekla. On je prema tomu — općenito uzevši — izvanredno dobar primjer za kompleksnu genezu hondrita.

#### LITERATURA

- Bence, A. & A. Albee (1968): Empirical correction factors for the electron microanalysis of silicates and oxides. — *J. Geol.*, 76, 382—403.
- Bunch, T. E., K. Keil & K. G. Snetsinger (1967): Chromite composition in relation to chemistry and texture of ordinary chondrites. — *Geochim. Cosmochim. Acta* 31, 1569—1583.
- Dodd, R. T. (1972): Calcium in chondritic olivine. — In: R. Shagam (ed.): *Studies in Earth and Space Sciences*. — *Geolog. Soc. Am., Mem.* 132, 651—660.
- Dodd, R. T. (1974): Petrology of the St. Mesmin Chondrite. — *Contr. Min. Petr.* 46, 129—145.
- Fredriksson, K., J. Nelen & B. J. Fredriksson (1968): The LL-group chondrites. — In: L. Ahrens (ed.): *Origin and Distribution of the Elements*. — Pergamon Press, Oxford, 457—466.
- Fuchs, L. H. (1969): The phosphate mineralogy of meteorites. — In: P. M. Millman (ed.): *Meteorite Research*. — Reidel, Dordrecht, 683—695.
- Fudali, R. F. & A. F. Noonan (1975): Gobabeb, a new chondrite: the co-existence of equilibrated silicates and unequilibrated spinels. — *Meteoritics* 10, 31—39.
- Hey, M. H. (1966): *Catalogue of Meteorites*. — Trustees of the British Mus. (Nat. Hist.), London.
- Hoinkes, G. & G. Kurat (1974): Chemismus von Spinellen aus dem Mezö-Madaras Chondriten. — In: Kiesel, W. & H. Malissa (ed.): *Analyse extraterrestrischen Materials*. — Springer-Verlag, Wien, N. Y., 265—288.
- Jackson, E. D. & T. L. Wright (1970): Xenoliths in the Honolulu volcanic series, Hawaii. — *J. Petrol.*, 11, 405—430.

- Kurat, G. (1967): Einige Chondren aus dem Meteoriten von Mezö-Madaras. — *Geochim. Cosmochim. Acta*, 31, 1843—1857.
- Kurat, G. (1970): Zur Genese des kohligen Materials im Meteoriten von Tieschitz. — *Earth Planet. Sci. Letts.*, 7, 317—324.
- Kurat, G. (1971): Granat-Spinell-Websterit und Lherzololith aus dem Basalttuff von Kapfenstein, Steiermark. — *Tschermak's Min. Petr. Mitt.*, 16, 192—214.
- Kurat, G., K. Fredriksson & J. Nelen (1969): Der Meteorit von Siena. — *Geochim. Cosmochim. Acta* 33, 765—773.
- Lange, D. E., C. B. Moore & K. Rhoton (1973): The Willowbar meteorite. — *Meteoritics*, 8, 263—275.
- Osborn, T. W., R. G. Warren, R. H. Smith, H. Wakita, D. L. Zellmer & R. A. Schmitt (1974): Elemental composition of individual chondrules from carbonaceous chondrites, including Allende. — *Geochim. Cosmochim. Acta* 38, 1359—1378.
- Ramdohr, P. (1967): Chromite and chromite chondrules in meteorites. I. — *Geochim. Cosmochim. Acta* 31, 1961—1967.
- Van Schmus, W. R. & J. A. Wood (1967): A chemical-petrologic classification for the chondritic meteorites. — *Geochim. Cosmochim. Acta*, 31, 747—765.
- Van Schmus, W. R. & P. H. Ribbe (1968): The composition and structural state of feldspar from chondritic meteorites. — *Geochim. Cosmochim. Acta*, 32, 1327—1342.
- Van Schmus, W. R. & P. H. Ribbe (1969): Composition of phosphate minerals in ordinary chondrites. — *Geochim. Cosmochim. Acta* 33, 637—640.

## DODATAK

Napisao Ljudevit Barić

Prednji članak predstavlja prijevod originalnoga rada koji je pod naslovom »Dubrovnik: Ein L3-6 Chondrit« objavljen u *Annalen des Naturhistorischen Museums*, 80, pp. 39—55, Wien, November 1976. Prijevod je uradio treći od autora, Lj. Barić.

O samom padu načinio je nekadašnji službenik muzeja u Dubrovniku, Lukša Goz z e, zapisnik, datiran sa 6. 7. 1951, koji se ovdje iz povijesno-znanstvenih razloga objavljuje u potpunosti.

## Zapisnik 2191.

## Inventar 276 (metali)

20. I. 1951, oko 14 sati čuo se visoko u zraku jaki prasak poput rafala flaka (protuavionskog topa). Neka žena, koja se u tom času nalazila na mjestu zvanom Trnovi Do, primijetila je da je nešto palo na zemlju među masline u njenoj blizini. Na to mjesto prvi je naišao Cvjetković Ivo, ali nije dirao pali predmet bojeći se da nije možda bomba ili granata. Kasnije su došli na lice mjesta Cvjetković Niko, Antunović Đuro i Cvjetković Tonko. Iskopali su pali predmet koji se bio ukopao u zemlju oko 30 cm, gdje se zaustavio o jedan kamen. Promjer rupe na površini zemlje gdje se ukopao bio je dosta manji od promjera samog komada te nalaznici prema tomu pretpostavljaju da je pali komad u momentu kad je udario o zemlju bio drukčijeg oblika i vjerojatno mek



uslijed visoke topline, pa da se udarivši o kamen malko splosnuo odnosno raširio. Komad je doletio na zemlju u kosom smjeru sjever—jug, što se zaključuje po slomljenim grančicama na jednom obližnjem stablu masline. Komad je težak 1.900 g. Bio je malo napuknut na tri mjesta, te su te male komadiće otcijepili. Jedan od tih komadića predao je svojedobno g. Niko Cvjetković našem Muzeju.

Na moje pitanje, da li bi bio voljan da meteorit ustupi našem Muzeju, g. Niko Cvjetković mi ga je najpripravnije predao i izjavio da ga vrlo rado dariva našem Muzeju, pošto je tako već od početka bio odlučio. Zamolio je da mu Muzej za protuuslugu povрати onaj mali odlomak ovog meteorita koji je svojedobno predao, jer da bi ga želio imati za uspomenu. Obećao sam mu da će mu traženi odlomak biti prvom prilikom povraćen, a za darovani meteorit da će dobiti pismenu potvrdu i zahvalu od uprave Muzeja.

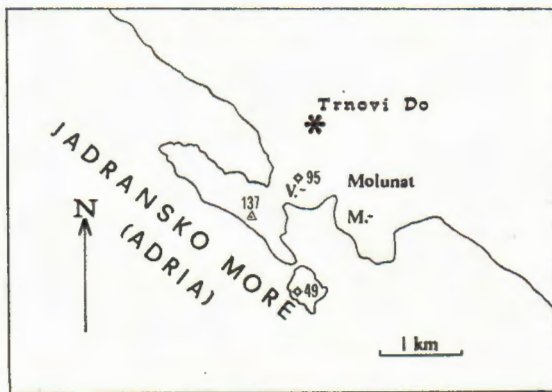
Dubrovnik, 6. jula 1951.

S. F. — S. N.!

Lukša Gozze, s. r.

To je, eto, dokument o padu dubrovačkoga hondrita. Ondašnji ravnatelj muzeja u Dubrovniku, sveuč. prof. dr Tomo Gamulin ustupio mi je najpripravnije čitav primjerak na istraživanje. Njemu treba zapravo zahvaliti što smo Hoinkes, Kurat i ja mogli istražiti taj zanimljivi meteorit koji je dne 20. 1. 1951. pao u Trnovi Do, 31 km jugoistočno od Dubrovnika. Sav materijal koji je preostao nakon iscrpnih istraživanja nalazi se danas u zbirci Mineraloško-petrografskoga muzeja u Zagrebu (Hrvatska, Jugoslavija).

Napomenuti treba na kraju da je uslijed pogreške pri štampanju originalnoga rada mjesto na koje je pao meteorit pogrešno označeno kao Tonovi Do (Hoinkes, Kurat & Barić 1976, p. 40) umjesto Trnovi Do, kako u stvari mora biti. Ono je prikazano na geografskoj skici (sl. 7).



Sl. 7. Položajna skica

## Meteorit aus der Umgebung von Dubrovnik: Ein L3-6 Chondrit

G. Hoinkes, G. Kurat und Lj. Barić

Vorliegende Arbeit stellt die kroatische Übersetzung der in deutscher Sprache verfassten Abhandlung »Dubrovnik: Ein L3-6 Chondrit« dar, welche in *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien*, Bd. 80, S. 39—55 im November 1976 veröffentlicht wurde.

Der Übersetzung ist die von L. Gozze gemachte Urkunde über den Fall des Meteorsteins mit der geographischen Skizze des Fallortes beigegeben. Es muss Aufmerksamkeit darauf gelenkt werden, dass in der originellen, oben zitierten Abhandlung (Hoinkes, Kurat & Barić 1976, S. 40) infolge des Druckfehlers die Stelle des Falles mit Tonovi Do angegeben wird. Richtig muss es Trnovi Do heissen.

Angenommen am 16. 03. 1977.

### TABLA I

Gore: Presjek hondrita od Dubrovnika (inv. br. u Mineraloško-petrografskom odjelu Prirodnjačkoga muzeja u Beču L 4213). Svijetli hondritni fragmenti uloženi su u tamnoj hondritnoj osnovi. Dužina primjerka: 6,5 cm.

Dolje: Izgled dubrovačkoga meteorita; 0,7x.

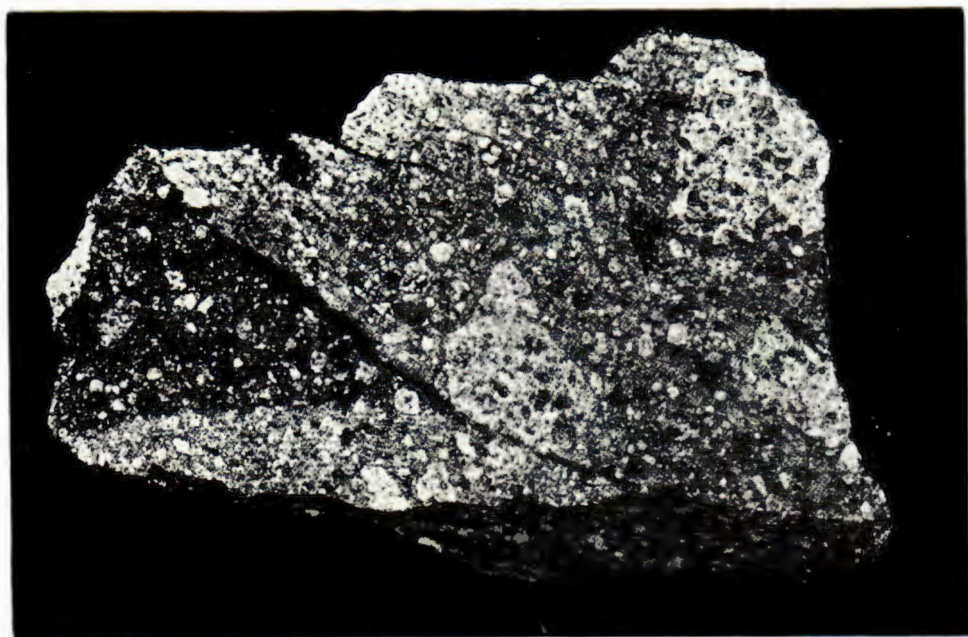


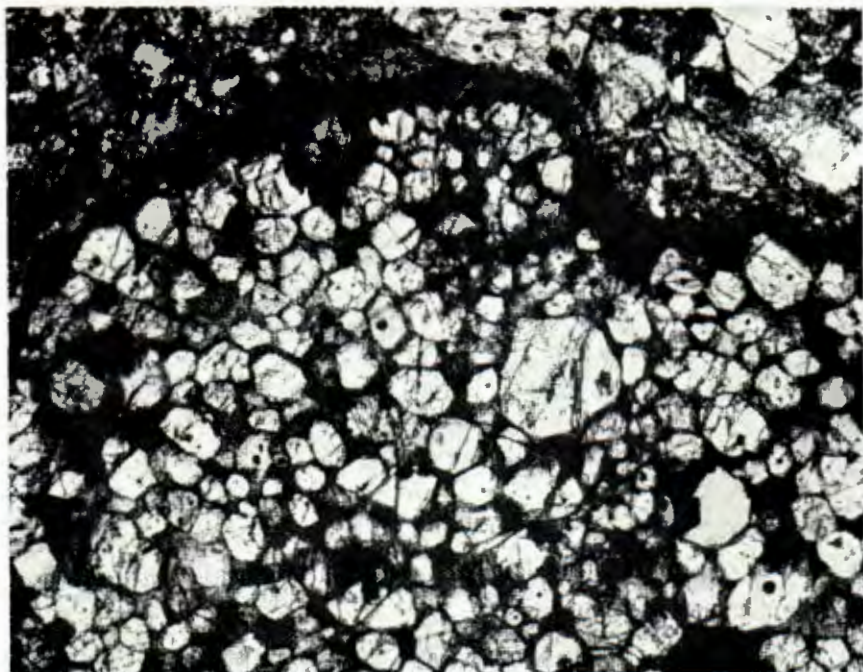
TABLA II

Sl. 2. Dubrovački hondrit: ortopiroksen okružen klinopiroksenom. Prolazna svjetlost, nikoli ukršteni. Dužina slike 0,78 mm.

Sl. 3. Tamna osnova oko fragmenta. Osnova okružuje čitavi fragment u jednakoj debljini. Prolazna svjetlost. Dužina slike: 0,78 mm.



2



3