

## Heterogén szerkezetű és összetételű, IVA szerkezeti jellegű kaposfüredi (kaposvári) vasmeteorit

KUBOVICS IMRE<sup>1</sup>, BENDŐ ZSOLT<sup>1</sup>, DITRÓI-PUSKÁS ZUÁRD<sup>1</sup>, BARTHA ANDRÁS<sup>2</sup>, LOVAS GYÖRGY<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ELTE Kőzettani és Geokémiai Tanszék, 1117 Budapest Pázmány P. sétány 1/C

<sup>2</sup> Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, 1143 Budapest, Stefánia út 14.

<sup>3</sup> ELTE Ásványtani Tanszék, 1117 Budapest Pázmány P. sétány 1/C

### *IVA structural type iron meteorite from Kaposfüred (Kaposvár) with heterogeneous structure and composition*

#### Abstract

The Kaposfüred iron meteorite fell in 1995 with a total weight of 2303 g. It is a IVA type octahedrite with varying main element composition in the different parts of the meteorite: Fe = 86.84–90.00%, Ni = 7.21–7.94%, Co = 0.335–0.420%, Si = 0.20–0.90%, C > 1%. Beside the main constituents kamacite and taenite, it contains some Si-metal, daubréelite, and graphite as well.

Based on the width of kamacite plates that varies between 0.1 and 0.65 mm, and considering the Ni, Co and Ir, Pt, (Ga), Cr (etc.) concentrations, it can preliminarily be classified as a IVA structural type octahedrite (in which the plate widths varies between 0.25 and 0.45 mm). On the etched surface the kamacite displays square-like internal structures revealing a fine internal morphology. The Ni-content in kamacite varies between 4.27 and 7.10% (average 6.60%), and in taenite 27 to 45% (average 34.2%).

The morphology of plessite is highly varied with irregular, elongated and rounded grains of different size. A poorly developed Widmanstätten-like structure is discernable in some parts of the fine-grained plessite.

Multiple partial melting and re-crystallization events have proceeded in the different parts of the meteorite. The most intense melting — that produced the taenite bands among others — has most probably taken place in the atmosphere.

Silicon is found partly in the kamacite, but predominantly is a minor constituent in the meteorite with high-pressure body-centered cubic crystal structure.

The unevenly distributed carbon is exclusively represented by graphite. Its varied morphology and appearance may point to different formation circumstances.

*Keywords: condensation, accretion, presolar grains, octahedrite, Widmanstätten structure, kamacite, taenite, plessite, daubréelite*

#### Összefoglalás

Az 1995-ben hullott 2303 g tömegű kaposfüredi (kaposvári) vasmeteorit IVA szerkezeti jellegű oktaedrit főelem-összetétele a meteorit különböző részeiben eltérő (Fe: 86,84–90,00%; Ni: 7,21–7,94%; Co: 0,335–0,420%, továbbá Si: 0,20–0,90% és C > 1%). Eddigi vizsgálatok szerint a kristályfázisként — az uralkodó kamacit és ténit mellett — kevés fémszilíciumot, daubréelit, és grafitot is tartalmaz.

A kamacitlemezek szélessége 0,1–0,65 mm, eszerint a meteorit csak kissé erőltetetten, ill. a nikkelt, a kobalt, valamint az irídium, a platina, (a gallium), a króm (stb.) koncentrációjának figyelembevételével sorolható a 0,25–0,45 mm lemezszélességű IVA szerkezeti típusba. A maratott felületen — főleg a kamacitlemezek — megközelítőleg négyzetes átmetszetű képletek, illetve kockaszerű formák láthatók, amelyek a kamacitkristályok belső finomszerkezetét, a morfológiáját jelzik. A nikkeltartalma változó (4,27, ill. 5,35–7,10%). A ténitben is hasonló ingadozás (27–45%, átlagban 34,2%) észlelhető.

A plessitet változatos, teljesen szabálytalan, nyúlványyszerű és megközelítőleg kerekded, erősen különböző méretű szemcsék alkotják. A finomszemcsés részlegben helyenként kezdetleges Widmanstätten-hálózatra emlékeztető elrendeződés figyelhető meg.

A meteoritok különböző részeiben többszörös parciális olvadás–újra kristályosodás ment végbe. A legintenzívebb — többek között a széles ténitsávokat is eredményező — olvadás valószínűleg a légkörben zajlott le.

A szilíciumot részben a kamacit tartalmazza, de főleg önálló meteoritalkotóként, nagynyomású szabályos tércentrált kristályszerkezetű fázisként jelenik meg.

Az egyenlőtlen eloszlású szén kizárólag grafit képviseli. A változatos morfológiájú és megjelenésű karbónium különböző keletkezési viszonyokat valószínűsít.

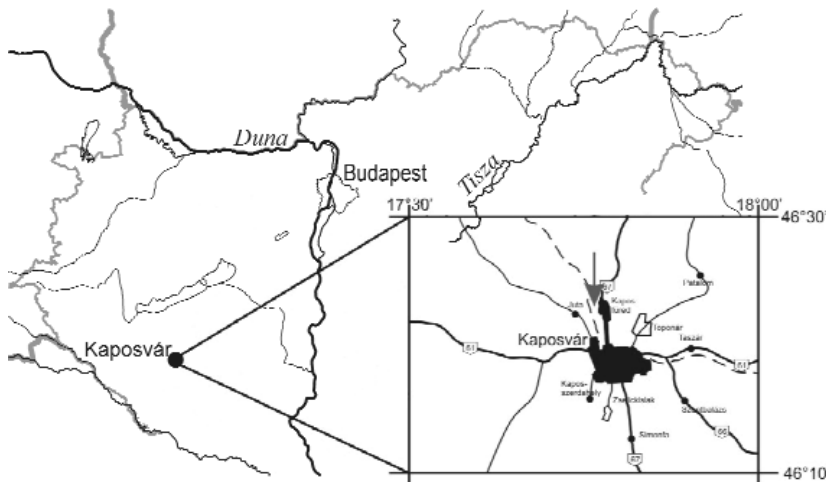
*Tárgyszavak: kondenzáció, akkréció, preszoláris szemcsék, oktaedrit, Widmanstätten-szerkezet, kamacit, ténit, daubréelit, ferroszilícium*

## Bevezetés

A 2303 g tömegű<sup>1</sup> egyedüli, sajátos, átlagos nikkeltartalmú kaposfüredi (kaposvári) vasmeteorit (1., 2. ábra) TÖRÖK Marcell plébános elbeszélése szerint 1995. május 7-én hajnali 3 órakor csapódott a földre, a háza bejárati ajtajától 20,5 m távolságra (2. ábra). A vasúttól keletre 40, az Állomás utcától (a Jutára vezető úttól) 48, a bejárati ajtótól 13,5 m távolságra lévő, 5,3 m magasságban letört vörösfenyő (Larix,



1. ábra. Ablációs és sík felületű kaposfüredi vasmeteorit  
Figure 1. Kaposfüred iron meteorite with ablated and flat surface



2. ábra. Kaposvár–Kaposfüred környezete, és földrajzi koordinátái. A nyíl a meteorit becsapódási helyét jelzi (hosszúság: 17° 46' K-i, szélesség: 46° 25' É-i).

Figure 2. Location of Kaposvár–Kaposfüred with geographical coordinates. Arrow points to impact site (longitude E 17°46', latitude N 46° 25')

3. ábra), és a kráter közötti távolságból (5,2 m), valamint az érkezés irányából a meteorit pályája — 35–215° — továbbá a pályaszög (45°) egyértelműen megállapítható. Mindezekből következik, hogy a kozmikus test nagy sebességgel, ebből is adódóan izzó állapotban csapódott a földre (KUBOVICS et al. 1997). A hőmérsékletét, ill. a hőszugárzását — többek között —

a ház előtti ruhaszárító alumíniumdrót szétolvadása is jelzi (4. ábra).

TÖRÖK Marcell neve és jelenlegi tevékenysége szorosan összekapcsolódik a kaposfüredi vasmeteorit jelzett becsapódásával. Ezért e ritka és szokatlan „égi tűnemény” hatásának megértéséhez elengedhetetlen életútja leglényesebb eseményeinek rövid ismertetése. TÖRÖK M. 1942-ben született a Kaposfüred (Kaposvár) melletti Jután. 1962. november 12-én megkezdte katonai szolgálatát. December 8-án éjszaka hadgyakorlat közben a tíz katonát szállító teherautó fékje meghibásodott, és egy gyorsvonatnak ütközött. Egyedül maradt életben, de erősen összetört állapotban. Másfél év múlva, hagyta el a kórházat, félig gyógyultan. A betegsége azonban még pappá szentelése után is folytatódott. 1974-ben ismét hosszú időt, két részben összesen nyolc és fél hónapot töltött kórházban. Mindezek után nem csodálkozhatunk azon, hogy a kozmikus test nagyanja családi háza előtti becsapódását újabb jelnek tekintette. Bizonyos jelzések alapján elhatározta, hogy a korábban államosított, de részben visszaserzett területen felépített az efezosi Mária-ház, méretarányos mását. Az anyagi fedezet összegyűjtésére alapítványt létesítettek, és terve, a nagy álma — részben külföldi segítséggel — megvalósult. A „kozmosz jövevény”, ill. esemény hatására azonban a házat — a tervezett helyszíntől eltérően — közvetlenül a meteoritbecsapódás helye fölé építtette. A

házon belül a kráter függőleges tengelyének felszíni vetületét csillag jelzi (5. ábra).

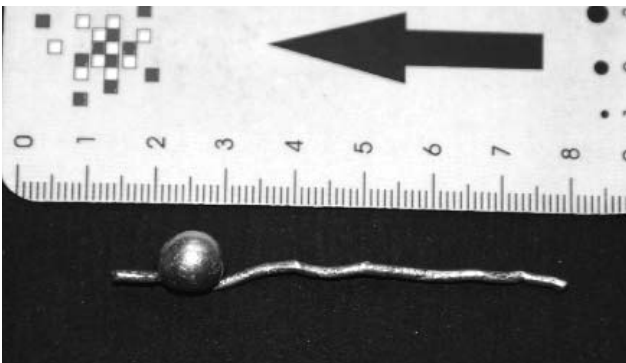
A meteorit felülete erősen ablatált, a kisméretű űrbeli „törmelékek”-kel, nagy mozgási energiájú mikrorészecskékkel történt ütközések okozta beöblösödések mélysége helyenként a 18 mm-t is eléri. Egyes öblökben a Widmanstätten-szerkezet is jól látható, ami szelektív „lepusztulást”, a kozmikus sugarak hatását (ionok becsapódását — FÖLDI et al. 1998 — jelentheti). Az egyik oldala azonban teljesen sík (-síkszerű), ablációmentes, és — a meteorit többi részétől eltérően — az oxidáció is nagyon gyenge. Emellett a sík hasadási felület olvadási kéreg és szferulák (fémgyöngyök) borítják. Ezek szerint a kozmikus test még a légtér elérése előtt, vagy esetleg a legfelső légtérben kettéhasadt. Az eredeti és a maradt

felületeken a namíbiai IVB típusú Hoba-meteoriton (ataxiton) észleltékhez nagyon hasonló — kétirányú repedések láthatók (6. ábra, a, b, c), amelyek valószínűleg sokkhatásra, a becsapódáskor, vagy — részben — a magas hőmérsékletű meteorit többszöri vízbemártásakor keletkeztek. A repedések főiránya a Widmanstätten-lemezekkel párhuzamos, ami arra utal, hogy kialakulásuk helyét a kozmikus test szerkezete alapvetően befolyásolta.

<sup>1</sup>A vizsgálatok céljára levágott darabok nélkül a legnagyobb példány jelenlegi tömege 1991 g.



3. ábra. A meteorit által letört (kettétört) vörösfenyő (Larix), és környezete TÖRÖK Marcell atya családi házával, valamint a kráter fölé emelt Mária-házzal  
 Figure 3. The broken larch-tree (Larix) and its surroundings with Marcell Török parson's house as well as the house of Virgin Mary erected above the crater

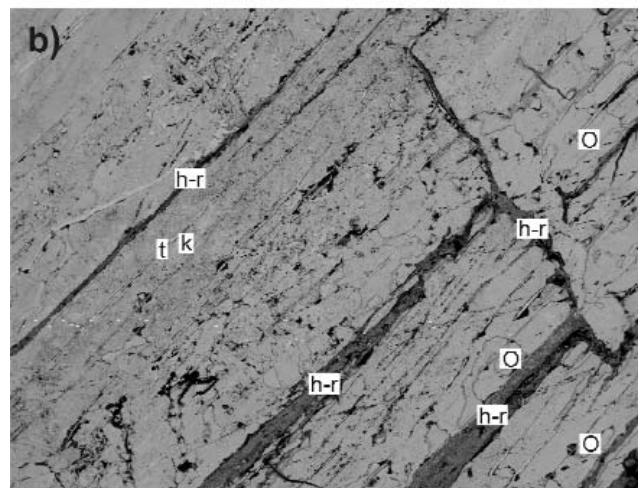
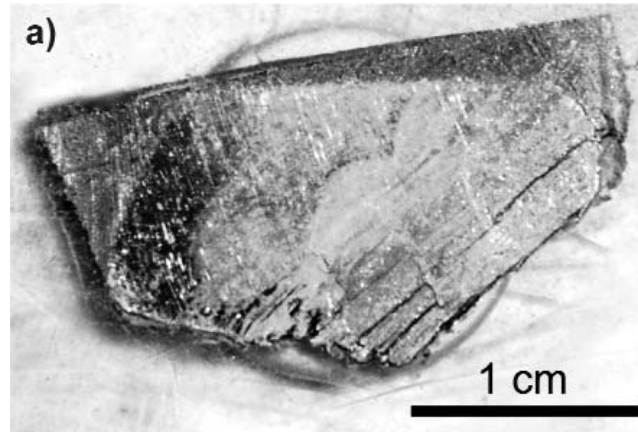


4. ábra. A megolvastott ruhaszárító alumíniumdrót  
 Figure 4. The melted Al clothes-wire

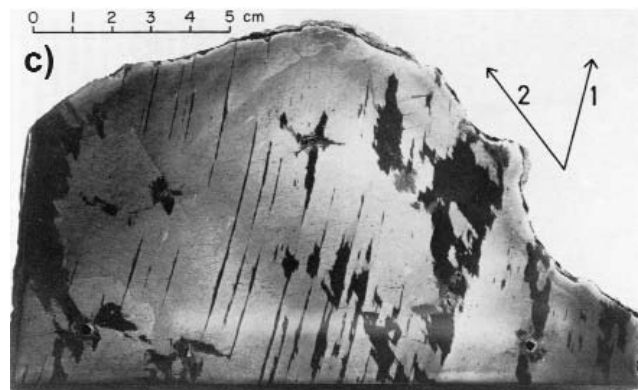


5. ábra. A meteoritkráter függőleges tengelyének (csillaggal jelölt) felszíni vetülete és Marcell atya a meteorittal (BECZ M. felvétele)

Figure 5. Surface projection of vertical axis of the meteorite crater (marked by an asterisk) and parson Marcell with the meteorite (photo by M. Becz)



HV: 20.0 kV DET: BE  
 Satellite @Tescan DATE: 08/09/10 2 mm



6. ábra. Kétirányú párhuzamos mikrohasadék-rendszer a kaposfüredi IVA és a namíbiai IVB szerkezeti típusú meteoritban

a) Maratott (étetett) felületű kaposfüredi meteorit makroszkópos fényképfelvétele. b) „Hasadozott-repedezett” (h-r) kaposfüredi meteorit pásztázó elektronmikroszkópi felvétele. A kamacitból (k) és ténitből (t) álló lemezekben belül másodlagos kristályfázisok (olvadási-kristályosodási jelenségek) láthatók (o). A kamacit 6,57, a ténit 25,76% nikkelt tartalmaz. c) Polírozott és maratott felületű namíbiai Hoba-meteorit (IVB típusú ataxit). Az 1-es és a 2-es nyíljal jelzett kétirányú sáv-, ill. hasadékrendszer - feltételezések szerint - sokkeredetű. (A kép a Smithsonian Intézetből származik, in WASSON 1974.)

Figure 6. Parallel micro-cleavage systems in two directions in Kaposfüred IVA and Namibian IVB structural type meteorites

a) Photomicrograph of the Kaposfüred meteorite: etched surface. b) Cleaved-fractured (h-r) Kaposfüred on SEM picture. Secondary crystals of melting-crystallization origin (o) can be seen inside kamacite (k) and taenite (t) plates. Ni-content in kamacite is 6.57, in taenite 25.76%. c) Polished and etched surface of the Hoba IVB type ataxite from Namibia. The band and fracture system in two directions (marked by arrows 1 and 2) is presumably of shock origin (Photo from the Smithsonian Institution, in WASSON 1974)

**I. táblázat.** A meteoritot övező oxidált réteg kémiai összetétele tömegszázalékban**Table I.** Chemical composition of surface oxide layer in w%

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	NiO	CoO	MnO	MgO	CaO
1	1,10	0,015	0,16	0,029	6,28	28,07	2,80	0,134	0,0024	0,029	0,19
2	2,78	0,038	0,404	0,073	15,86	70,88	7,07	0,338	0,006	0,073	0,48

	Si	Ti	Al	Cr	Fe	Ni	Co	Mn	Mg	Ca	
3	1,30	0,023	0,214	0,050	11,10	55,13	5,56	0,266	0,005	0,044	0,34
4	1,72	0,035	0,284	0,066	14,71	73,08	7,37	0,353	0,007	0,06	0,46

**I. táblázat folytatása****Table I continuation**

	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	S	H <sub>2</sub> O+	H <sub>2</sub> O-	Totál
1	0,50	0,15	0,15	39,20	21,20	100,01
2	1,26	0,38	0,38			100,02

	Na	K	S	Totál	Cu	Zn	Pb	As	Ba	Sr	Th	U
3	0,935	0,315	0,15	75,437	30	110	18,2		38	5	1,14	2,54
4	1,24	0,418	0,20	100,00	75,9	278	<75	<75	38	5	2,88	6,42

2: H<sub>2</sub>O-mentes kémiai összetétel (100%-ra korrigált), 3: Egyes oxidok fémtartalma, 4: 100%-ra korrigált fémkoncentrációk

A BME Nukleáris Technikai Intézetében végzett mérések szerint az oxidóv 0,616 µg/g aranyat, 1,06 µg/g irídiumot, továbbá 7,8 µg/g mennyiségű arzént is tartalmaz.

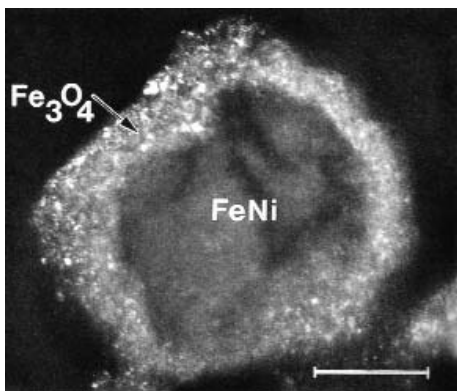
Az ablációs felületeken, a mélyedésekben viszonylag vastag, helyenként 1 mm-t is meghaladó oxidréteg alakult ki, feltehetőleg még a kozmikus térben. BRADLEY (1994) bolygóközi finomszemcsés aggregátumok por-, ill. kamacitszemcséi körül vékony (50 nm-es) polikristályos magnetitötvet észlelt (7. ábra), amely nagy energiájú részecskékkel (kozmos sugarakkal) történt ütközések hatására alakult ki az űrben. Ezzel azonos vagy hasonló folyamat eredményezhette a kaposfüredi meteorit körüli oxidréteg kialakulását is. TÖRÖK Marcell az izzó meteoritot egy vízzel töltött vödörbe dobta, ennek hatására keletkeztek az OH- és H<sub>2</sub>O-tartalmú, részben amorf vastartalmú oxidok (limonit). Ezt a kémiai összetétele, a 6,28% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, a 28,07% FeO, 2,80% NiO, továbbá a 39,2% +H<sub>2</sub>O, és az ugyancsak jelentős mennyiségű (21,2%) -H<sub>2</sub>O is igazolja. A fémfázis teljesen eltűnt (oxidálódott). Az OH-mentes összetételre korrigált FeO (70,88%), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (15,86%) és NiO (7,07%), ill. az oxidokból számított fémvas (73,08 + 14,71 = 87,79%), valamint -nikkel (7,37%) mennyisége (I. táblázat) azt jelzi, hogy a két fém

koncentrációja és aránya az átalakulás folyamán — az oxidáción kívül — érzékelhetően nem változott. A sík hasadási és a kiemelkedőbb felületeken látható olvadási jelenségek, a mikrogömbök (szferulák) a légkör hatását jelzik.

## Vizsgálati módszerek

A változatos szövetségű-szerkezetű kaposfüredi vasmeteorit kémiai és szilárdfázis-összetételének meghatározására az általunk elérhető összes vizsgálati módszert felhasználtuk. A teljes kémiai elemzések a meteoritot borító oxidrétegből, valamint a főtömeget alkotó oxidmentes mintákból a volt Magyar Állami Földtani Intézetben (MÁFI, ma MFGI) készültek.

A 0,5 g oxidos kéregrész, valamint 1,16 g vízmentes lítium-metaborát keverékét 900–1000 °C-on feltártuk, ezt követően az olvadékat 50 ml desztillált víz + 10 ml 1:1 hígítású sósav elegyében mágneses keveréssel teljesen



**7. ábra.** Magnetittel övezett (bolygóközi) kamacitszemcsé sötétlátómezős elektronmikroszkópi felvétele (BRADLEY 1994)

**Figure 7.** Kamacite surrounded by magnetite in an IDP (DF TEM image from BRADLEY 1994)

**II. táblázat.** A meteorit különböző részeiből vett minták nyomelemeinek koncentráció-  
**Table II.** Trace element concentrations (µg/g) in Kaposfüred from different parts of the

Elemcsoportok		Sziderofil elemek					
Nyomelemek (µg/g)		Au	Ru	Rh	Pd	Re	Os
Elemzést végző intézmény	MÁFI	2,29	4,44	0,92	2,65	1,65	-
	KFKI	87	4,50	-	-	0,24	2,95
	BME	89	-	-	-	-	-
Szélsőértékek	alsó	0,85	4,44	-	-	0,23	2,90
	felső	2,29	4,50	-	-	1,65	3,00
51 különböző lelőhelyű IVA típusú meteorit átlagainak szélsőértékei*		0,605	3,0**	-	-	0,027	0,98***
		2,762	5,0	-	-	0,468	4,1

MÁFI = Magyar Állami Földtani Intézet, ICP-MS, KFKI = Központi Fizikai Kutatóintézet, \*WASSON & RICHARDSON 2001, \*\* SCOTT & WASSON 1975, \*\*\* ULFF-MRLLER et al. 1995

feloldottuk, majd az oldatot 250 ml-re feltöltöttük, ill. kiegészítettük. A főkomponenseket tízszeresen hígított, a nyomelemeket pedig az eredeti, hígítás nélküli törzsoldatból határoztuk meg, JY-70 ICP-OES spektrométerrel. Az izzítási veszteséget és a H<sub>2</sub>O-t gravimetriásan, az FeO-tartalmat pedig redoxititrálással állapítottuk meg a MÁFI saját módszerével.

Az oxidmentes vasmeteorit-minták kémiai összetételét némileg eltérő módszerrel határoztuk meg. A 0,1 g mennyiségű anyagot 8 ml királyvízben feloldottuk, ezt követően az oldási maradékot lítium-metaboráttal összekevertük, és 900–1000 °C-on feltártuk. Az oldadékot — a korábban kidolgozott eljárással — teljesen feloldottuk, és a királyvízes oldattal egyesítettük, ill. összekevertük. A 250 ml-re kiegészített oldatból JY ULTIMA 2C ICP-OES készülékkel határoztuk meg az oktaedrit kémiai összetételét. Az önálló fázist alkotó karbónium, valamint az egyes kristályokban főalkotóként megjelenő kén koncentrációját FISONAS NA 1500 NCS elemvizsgálóval, az MSZ 24050:2001 szabvány alapján határoztuk meg. A nyomelemek kimutatására többféle módszert alkalmaztunk. A Ga és az Ir mennyiségét — szintén a királyvízes feltárás után — Perkin-Elmer DRC II ICP-MS-készülékkel mértük meg, Rh és In belső standardok felhasználásával.

A nyomelemek eloszlását és koncentrációját neutronaktivációs analízissel — kérésünkre — a KFKI Atomenergia Kutatóintézetében, valamint a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) Nukleáris Technikai Intézetében is vizsgálták. A KFKI Atomenergia Kutatóintézetben a méréseket rövid (5 perc) és hosszú (24 h) besugárzást követően végezték, Ge-gamma-spektrométerrel. (A reaktor névleges teljesítménye 10 MW, átlagos neutronfluxus:  $5 \times 10^{15}$  neutron/cm<sup>2</sup>s.) A BME Nukleáris Technikai Intézetében 8 órás besugárzási időt alkalmaztak. A nyomelemösszetételt egyheti, ill. egyhavi hűtési idő után, szintén Ge-gamma-spektrométerrel határozták meg. (A reaktor névleges teljesítménye 100 kW, maximális neutronfluxus:  $2 \times 10^{12}$  neutron/cm<sup>2</sup>s.)

Az MTA Műszaki, Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézetben Philips CM20 típusú transzmissziós analitikai elektronmikroszkóppal kémiai és fáziselemzéseket végez-

tek. A fázisok kémiai összetételét energiadisziperzív spektrométerrel, a szerkezetét pedig elektrondiffrakciós módszerrel határozták meg. A mintaelőkészítés többféle módon zajlott, részben elektrolitikus, részben ionsugaras vékonyítással.

A vizsgálatok gerincét alkotó pásztázó elektronmikroszkópi és mikroszondás vizsgálatokat AMRAY 1830 típusú, EDAX PV 9800-as energiadisziperzív spektrométerrel felszerelt elektronmikroszkóppal végeztük. A mérési körülmények: 20 kV gyorsítófeszültség, 1 nA áramerősség, 100 másodperc mérési idő. A mérési eredmények ellenőrzésére mesterségesen előállított, magas hőmérsékleten homogenizált — 4%, 10%, 20%, 30%, 40% nikkelt tartalmú — Fe-Ni ötvözetből álló standardsorozatot használtunk.

A röntgendiffrakciós vizsgálatokat Bruker D-5000 XRD típusú készüléken végeztük — porminta híján — egy csiszolt metszeten. Ezen vizsgálat célja a grafit jelenlétének megerősítése volt.

A maratott (étetett) és polírozott felületeken mért elemzési értékek között nincs lényeges — számításba vehető — különbség.

## Vizsgálati eredmények

Az erősen heterogén kaposfüredi (kaposvári) IVA szerkezeti jellegű (BÉRCZI et al. 1998) oktaedritben a kamacitlemezek szélessége rendkívül változatos (a 0,25–0,45 mm-től eltérően 0,1–0,65 mm), ami valószínűleg (legalábbis részben) a többszöri hőhatás következménye. Ebből adódóan a szerkezeti-genetikai minősítése nem egyértelmű. WASSON & RICHARDSON (2001) 51 különböző lelőhelyű (ezen belül 3 gibeoni) IVA típusú meteorit kémiai összetételét összesítették, ill. tanulmányozták. A kaposfüredi oktaedrit mellék- és nyomelemeinek koncentrációi túlnyomó részben a nevezettek által közölt lelőhelyenkénti átlagok szélső értékei közé esnek (II. táblázat), ami a IVA szerkezeti típusba való sorolását erősíti, ill. indokolhatja.

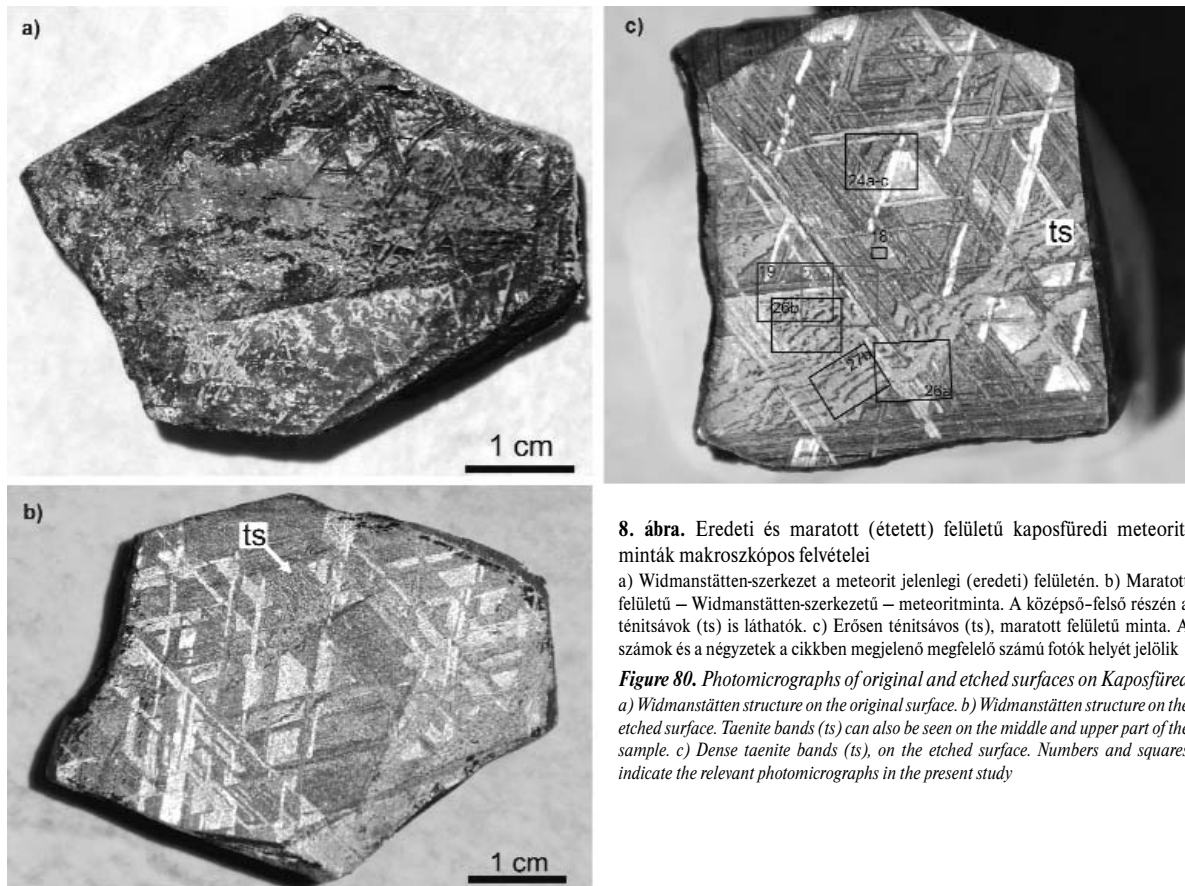
A kaposfüredi oktaedrit (8. ábra, a–c) változatos kémiai összetételű, ami a sűrűségében is kifejeződik ( $\rho = 7,3\text{--}8,1$

értékei  $\mu\text{g/g}$ -ban

meteorite

		Kalkofil elemek							Litofil (-pegmatofil) elemek									
Ir	Pt	Cu	Zn	Sn	Pb	Ga	As	Mo	Sr	Ba	V	Cr	Zr	Hf	Th	Nb	Ta	W
2,79	5,69	668	430	1,22	88	1,9	-	5,48	1,03	120	-	266	29,7	1,55	27,2	2,04	1,85	2,06
2,29		95	300		83,2					38,4		210						
2,44	-	148	-	-	-	2,45	3,45	-	-	-	0,23	-	-	-	-	-	-	0,65
2,43	-	-	-	-	-	-	3,40	-	-	-	-	257	-	-	-	-	-	-
2,29		95	300		83,2	1,9	3,4			38,4		210						0,65
2,79		668	430		88	2,8	3,5			120		266						2,06
1,11	2,70	106				1,68	2,04					10						0,23
3,78	7,70	209				2,40	14,50					572						0,69

Atomenergia Kutatóintézet (BÉRCZI et al. 1998), NAA, BMGE = Budapesti Műszaki Egyetem, Nukleáris Technikai Intézet, NAA



8. ábra. Eredeti és maratott (étetett) felületű kaposfüredi meteorit-minták makroszkópos felvételei

a) Widmanstätten-szerkezet a meteorit jelenlegi (eredeti) felületén. b) Maratott felületű – Widmanstätten-szerkezetű – meteoritminta. A középső-felső részén a ténitsávok (ts) is láthatók. c) Erősen ténitsávok (ts), maratott felületű minta. A számok és a négyzetek a cikkben megjelenő megfelelő számú fotók helyét jelölik

**Figure 80.** Photomicrographs of original and etched surfaces on Kaposfüredi meteorite. a) Widmanstätten structure on the original surface. b) Widmanstätten structure on the etched surface. Taenite bands (ts) can also be seen on the middle and upper part of the sample. c) Dense taenite bands (ts), on the etched surface. Numbers and squares indicate the relevant photomicrographs in the present study

g/cm<sup>3</sup>). A főkomponensek, illetve a leglényegesebb fázisalkotó elemek koncentrációja a kozmikus test különböző részeiben eltérő. Négy helyről vett minta elemzési adatai szerint 86,84–90,00% fémvasat, 7,21–7,94% fémnikkelt, 0,335–0,420% kobaltot, 0,20–0,90% fémszilíciumot, továbbá több mint 1% karboniumot is tartalmaz. A nikkeltartalom, a két főelem aránya, a meteorit erősen heterogén összetételéből, főleg a másodlagos kristályok, a kamacit, valamint a ténit változó, a parciális olvadás mértékétől függő mennyiségéből

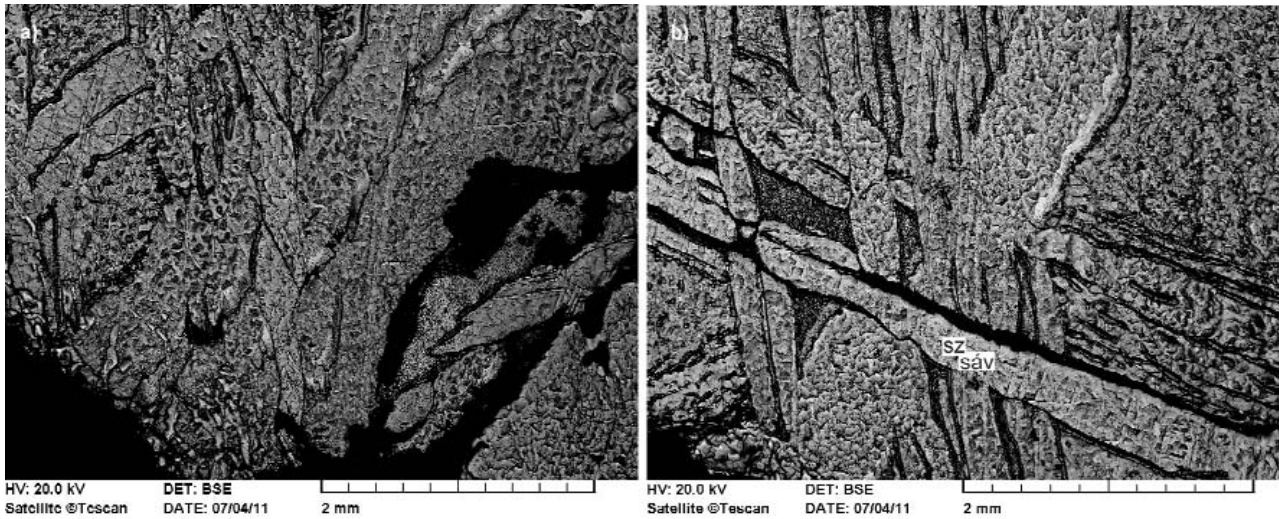
adódóan az oktaedriten belül erősen ingadozik. Ezért a meteorit átlagos összetétele, a vas, valamint a nikkelt koncentrációja és aránya az oktaedrit teljes tömegére vonatkozóan százszázalékos pontossággal — négy mintavételi hely ellenére — nem határozható meg. Egyes nyomelemek koncentrációjában is hasonló különbségek észlelhetők (II. táblázat). A táblázatban lévő elemeken kívül változó mennyiségű titánt és foszfort is tartalmaz. A szilícium egyes plesszítbéli kamacitkristályokban nyom- és mellékelemként egyaránt

### III. táblázat. A IVA szerkezeti jellegű meteorit egyes pontjainak analitikai (tömeg%) elektronmikroszkópi vizsgálata

Table III. Analytical results (in w%) of point analyses from the IVA structural type meteorite obtained by ATEM

Egyes kristályok összetétele tömegszázalékban.															
1. minta		Fe	Ni	Ti	Si	Cr	S	P	fázis	2. minta		Fe	Ni	Ti	Si
lemezek	a	55,0	44,5	0,0	0,1	0,1	0,2	0,0	lemezes ténit	plessziten belüli mérési pontok, különböző méretű szemcsék	1	93,4	6,4	0,0	0,2
	b	59,2	40,0	0,0	0,0	0,2	0,4	0,1			2	93,2	6,3	0,2	0,3
plessziten belüli mérési pontok, különböző méretű szemcsék	2	58,9	40,9	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	szemcsés ténit		3	93,8	5,8	0,0	0,4
	3	69,0	27,9	0,0	0,0	0,6	0,0	2,6			4	83,6	5,4	10,0	0,7
	4	84,5	13,8	0,0	0,2	0,0	0,0	1,3	kamacit		6	5,5	0,2	0,0	94,3
	5	88,2	10,3	0,0	0,0	0,0	0,5	1,0							
6	95,6	4,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0								

© A kristályszerkezet vizsgálata folyamatban van, a karboniumtartalom alapján valószínűleg vas-titan-karbid.

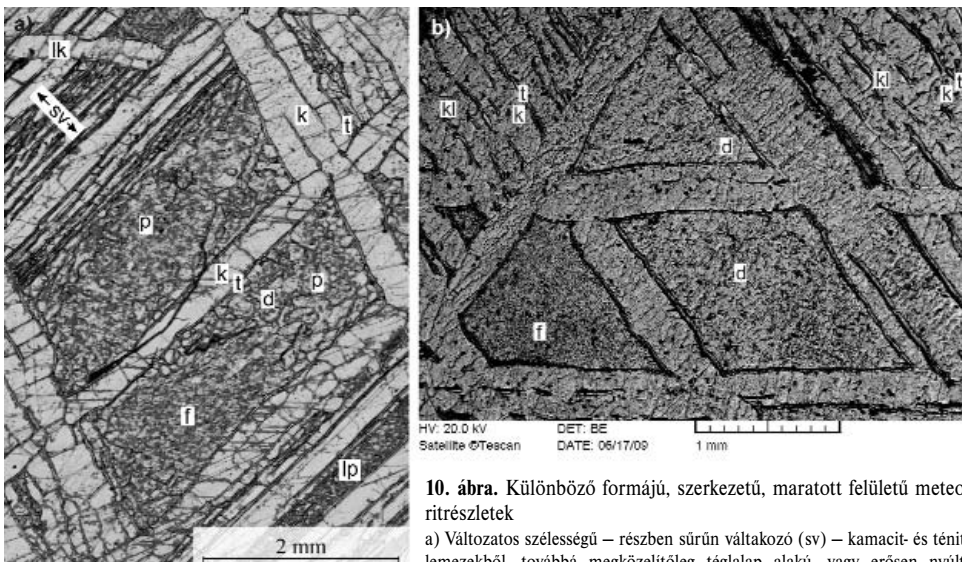


9. ábra. Breccsás (a) és töredezt (b) meteoritrészek

b) A mintán végighúzódó – korábbi szerkezetet harántoló – kamacittal kitöltött mikrohasadék. sz: kamacitszemce, Ni = 6,53%, sáv: kamacitsáv, Ni = 6,33%

Figure 9. Brecciated (a) and fractured (b) parts of the meteorite

b) Micro cleavage transecting the previous structures all along the sample, subsequently filled by kamacite. sz: kamacite grain, Ni = 6.53%, sáv: kamacite band, Ni = 6.33%



10. ábra. Különböző formájú, szerkezetű, maratott felületű meteoritrészletek

a) Változatos szélességű – részben sűrűn váltakozó (sv) – kamacit- és ténit-lemezekből, továbbá megközelítőleg téglalap alakú, vagy erősen nyúlt, lemezszerű plesszítből (lp) álló meteoritrészeket. A plessziten belül kétféle – egy durvább (d) és egy finomabb (f) – szemcseméretű rész különíthető el. Helyenként a lemezek kereszteződése (lk) is megfigyelhető (k - kamacit, t - ténit, p - plesszít). Kristálytani tengelyre megközelítőleg merőleges metszet. b) Kamacit (k) valamint ténit (t) váltakozásából álló lemezszerkezetet, viszonylag homogén kamacitlemezeket (kl), durvább (d) és finomabb (f) szemcseméretű plesszitet, továbbá viszonylag sok grafitot (fekete szemcsék) tartalmazó meteoritrészlet. Páztázó elektronmikroszkópi felvételek

Figure 10. Etched meteorite surfaces with various forms and structures

a) Meteorite structure consisting of – partly densely alternating (sv) – kamacite and taenite plates of various width as well as roughly rectangle or highly elongated platy-like plessite (lp). Inside plessite two grain size populations are discernible: a coarser-grained (d) and a finer-grained (f). Plate-crossing (lk) can be seen at places (k - kamacite, t - taenite, p - plessite). SEM-image is roughly perpendicular to crystallographic axis. b) Part of meteorite consisting of alternating kamacite (k) and taenite (t) plates, relatively homogeneous kamacite plates (kl), coarse (d) and finer (f) grain size plessite, and relatively abundant graphite (black grains). SEM-image

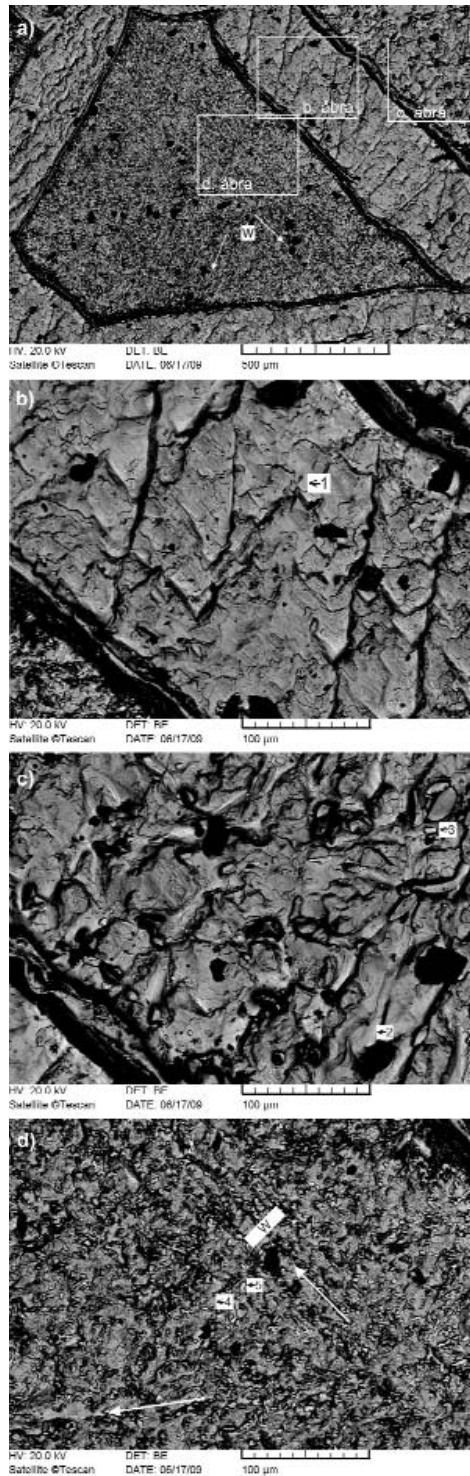
megjelenik. 0,1–0,2% Si – ritkán – egyes ténitkristályokban is kimutatható (III. táblázat). Kristályfázisként – a főtömeget alkotó kamacit és ténit mellett – daubrélitet, vas-titán-karbidot (?), nagy nyomású fémszilíciumot, esetleg moissanitot (szilícium-karbidot), valamint kevés grafitot is tartalmaz.

A kozmikus test különböző részein eltérő mértékű parciális olvadás zajlott le, feltehetőleg részben az űrbeli pályáján történt ütközések, valamint a légterbeni felmelegedés hatására. Az űrben történő ütközéseket egyes „breccsás” és „töredezt” meteoritrészek is jelzik (9. ábra, a, b). Ebből adódóan elsődleges (eredeti, primer) és másodlagos (szekunder) kamacit- és ténitkristályokat különböztethetünk meg.

A primer kamacitlemezek szélessége többnyire 0,10–0,65 mm, de a

formája, jellege, a lemezek térbeli elrendeződése változatos (10. ábra, a, b). A köztés részeket durvább és finomabb szemcseméretű plesszít tölti ki. A kétféle szemcseméret elkülönülten egy-egy halmazban belül is megfigyelhető (10. ábra, a). A plesszít finomabb szemcseméretű részeiben

Cr	S	P	fázis
0,0	0,0	0,0	kamacit
0,0	0,0	0,0	
0,0	0,0	0,0	
0,1	0,2	0,0	⊗
0,0	0,0	0,0	nagynyomású Si



11. ábra

a) Viszonylag homogén kamacitlemezek, valamint kétféle szemcseméretű plesszit pásztázó elektronmikroszkópi felvétele. A finomszemcsés részben kezdetleges Widmanstätten-szerkezetre (W) utaló elrendeződés látható, irányát a fehér nyilak mutatják. A négyzetek a b, a c és a d jelű ábra területét jelzik. (A kép a 8b ábrán látható darabról készült.) b) Viszonylag homogén – széles – kamacitlemez. 1: Ni = 6,86%. c) Durvaszemcsés plesszit. 2: Ni = 5,99%; 3 = 35,48%. d) Finomszemcsés plesszit. 4: Ni = 5,83%; 5 = 42,09%. W – kezdetleges Widmanstätten-szerkezetre utaló elrendeződés. (Adatokat: IV. táblázat)

## Figure 11

a) SEM-image of relatively homogeneous kamacite bands, and plessite with two grain size. A Widmanstätten-like structure (W) is discernible in the fine-grained part, the white arrows showing its directions. Rectangles mark the areas on b), c), and d). (Photo taken on sample shown in Figure 8b.) b) Relatively homogeneous – wide – kamacite band 1: Ni = 6.86%. c) Coarse-grained plessite. 2: Ni = 5.99%; 3 = 35.48%. d) Fine-grained plessite. 4: Ni = 5.83%; 5 = 42.09%. W - Widmanstätten-like structure (Data: Table IV)

helyenként határozott orientáció illetve kezdetleges Widmanstätten-szerkezetre emlékeztető elrendeződés látható (11. ábra, a, d). Az eltérő szemcseméret (11. ábra, a, c, d) egyes fázisok kémiai összetételében, a vas és a nikkelt arányában is kifejeződik. A finomszemcsés részben a ténit általában némileg több nikkelt tartalmaz (IV. táblázat). Egyes jól körülhatárolt, viszonylag homogén peremű

IV. táblázat. A különböző megjelenésű kamacit-ténit vas- és nikkeltartalma tömegszázalékban

Table IV. Iron and nickel concentrations in kamacite and taenite phases with different appearance (in w%)

Ábra	Alak (forma)	Mérési pont jele a képen	Fe	Ni
13b	lemez	1	93,14	6,86
13c	durvaszemcsés plesszit	2	94,01	5,99
13c	durvaszemcsés plesszit	3	64,52	35,48
13d	finomszemcsés plesszit	4	94,17	5,83
13d	finomszemcsés plesszit	5	57,91	42,09
14a	lemez	1	93,56	6,44
14a	vékony lemez	2	92,93	7,07
14a	lemez	3	92,97	7,03
14a	sáv	4	71,71	28,29
14a	lemez	5	66,24	33,76
14b	nagy szemcse	6	93,34	6,66
14b	sáv	7	65,48	34,52
14b	kiszélesedett sáv	8	63,97	36,03
15b	nagy szemcse	1	93,36	6,64
15b	széles sáv	2	69,03	30,97
15c	finomszemcsés részleg	3	93,03	6,97
15c	tűs kristályok	4	62,34	37,66
16	lemez	1	93,34	6,66
16	lemez	20	93,34	6,66
16	plesszit (minimum)	13	94,23	5,77
16	nyúlvány (másodlagos?)	21	89,56	10,44
16	lemez	2	69,40	30,60
16	lemez	24	71,00	29,00
16	plesszit (maximum)	23	72,25	27,75
16	nyúlvány (másodlagos?)	22	71,76	28,24
18a	halmaz	1	93,37	6,63
18a	téglalap alakú halmaz	2	93,45	6,55
18a	gömb alakú szemcse	3	65,53	34,47
18a	gömb alakú szemcse	4	63,97	36,03
18a	gömb alakú szemcse	5	65,77	34,23
18b	gömb alakú szemcse	6	63,64	36,36
18b	gömb alakú szemcse	7	63,32	36,68
18b	gömb alakú szemcse	8	62,66	37,34
18b	gömb alakú szemcse	9	62,05	37,95
18b	gömb alakú szemcse	10	61,93	38,07
18b	gömb alakú szemcse	11	60,98	39,02
18b	négyzet alakú szemcse	12	61,38	38,62
19	lemez	1	93,12	6,88
19	halmaz	2	92,86	7,14



## IV. táblázat folytatása

Table IV continuation

Ábra	Alak (forma)	Mérési pont jele a képen	Fe	Ni
19	lemez	3	64,04	35,96
19	halmaz	4	64,98	35,02
20b	lemez	1	93,13	6,87
20b	lemez	2	93,22	6,78
20b	nagy szemcse	3	93,34	6,66
20b	vékony ténitsáv	4	65,32	34,68
20b	vékony ténitsáv	5	68,98	31,02
20b	vékony ténitsáv	6	69,74	30,26
20b	ténitlemez	7	65,30	34,70
20b	ténitsáv	8	66,61	33,39
20c	plesszit	9	92,22	7,78
20c	plesszit	10	60,27	39,73
20d	plesszit	11	93,37	6,63
20d	plesszit	12	55,78	44,22
20d	plesszit	13	57,55	42,45
21a	kamacitlemez	1	93,31	6,69
21a	kamacitlemez	2	93,41	6,59
21a	kamacitlemez	3	93,11	6,89
21a	kamacitlemez	4	93,41	6,59
21a	plesszit	5	93,08	6,92
21a,b	primer nagy kamacszemcse	6	93,17	6,83
21a,b	primer nagy kamacszemcse	7	93,41	6,59
21a	vékony ténitlemez	8	65,75	34,25
21a	vékony ténitlemez	9	64,52	35,48
21a	vékony ténitsáv	10	65,72	34,28
21a,b	ténitsáv	11	69,50	30,50
21a,b	ténitsáv	12	72,27	27,73
21c	zavaros részleg	13	95,73	4,27
21c	zavaros részleg	14	72,38	27,62
22	lemez	1	93,25	6,75
22	lemez	2	94,65	5,35
22	négyzetes alak plesszitben	3	94,45	5,55
22	másodlagos, négyzet alakú elemekből álló sáv lemezen belül	4	93,39	6,61
22	téglalap alakú halmaz	5	93,67	6,33
22	féregszerű, zegzugos alakzatok	6	93,20	6,80
22	féregszerű, zegzugos alakzatok	7	93,37	6,63
22	féregszerű, zegzugos alakzatok	8	93,03	6,97
22	szaggatott (bontott) ténitlemez	9	63,17	36,83
22	szaggatott (bontott) ténitlemez	10	67,86	32,14
22	szabálytalan alakú sáv szerű halmaz plesszitben	11	75,17	24,83
24a	lemez	1	93,55	6,45

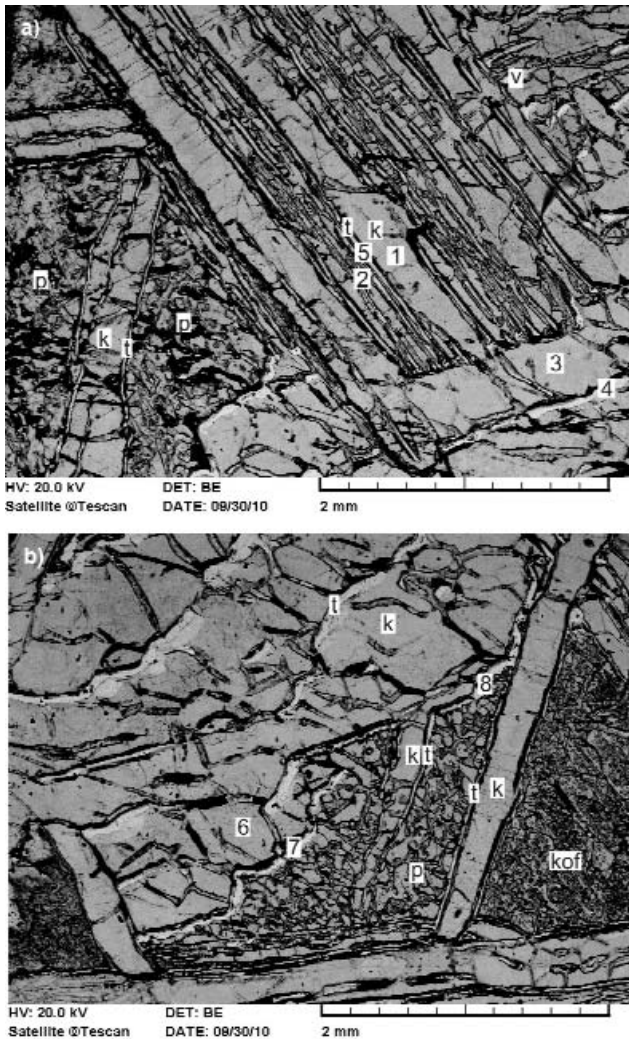
## IV. táblázat folytatása

Table IV continuation

Ábra	Alak (forma)	Mérési pont jele a képen	Fe	Ni
24a	plesszit, durvaszemcsés részleg	2	93,28	6,72
24a	plesszit, durvaszemcsés részleg	3	93,32	6,68
24a	plesszit, nagy szemcse	4	93,03	6,97
24a	nagy szemcse (a plessziten kívül)	5	93,30	6,70
24a	a kamacit és a plesszit közötti sáv	6	68,81	31,19
24a	szaggatott (bontott) ténitlemez	7	69,79	30,21
24a	a plessziten belüli erősen hullámos sáv	8	65,56	34,44
24c	finomszemcsés plesszit	9	93,10	6,90
24c	finomszemcsés plesszit	10	61,04	38,96
25b	négyzetes átmetszetű szemcsékből álló lemez	1	93,29	6,71
25b	négyzetes átmetszetű szemcsékből álló lemezt övező külső sáv	2*	93,19	6,24
25b	négyzetes átmetszetű szemcsékből álló lemezt övező belső sáv	3	93,05	6,95
25b	"plesszit"	4	92,96	7,04
25b	négyzetes átmetszetű szemcsékből álló lemezt övező belső sáv	5	69,98	30,02
25b	plessziten belüli sáv	6	70,15	29,85
25c	bontott plesszit	7	95,10	4,90
25c	erősen bontott plesszit	8	54,96	45,04
25c	erősen bontott plesszit	9	58,32	41,68
26a	négyzetes átmetszetű szemcsékből álló lemez	1	93,44	6,56
26a	erősen átalakult lemez	2	93,31	6,69
26a	sávos halmaz	3	68,60	31,40
26b	halmaz	4	93,34	6,66
26b	halmaz	5	92,86	7,14
26b	sáv	6	64,98	35,02
26b	sáv	7	64,20	35,80
26b	sáv	8	70,38	29,62
26b	sáv	9	67,83	32,17
27a	nagy szemcse	1	93,28	6,72
27a	sáv	2	67,11	32,89
27a	sáv	3	70,23	29,77
27a	sáv szerű halmaz	4	69,22	30,78
27a	sáv	5	65,96	34,04
27a	szalag (tűszerű)	6	69,60	30,40
27b	szaggatott sáv	7	67,63	32,37
27b	szaggatott sáv	8	68,55	31,45

2\*: 0,57% foszfort is tartalmaz

nagyobb kamacitkristályok belső részeit vékony ténit-lemezek tagolják (12. ábra). Emellett — a lemezekon és a plessziten kívül — egyéb változatos formák, 0,5–1 mm átmérőjű kissé kerekded, valamint teljesen szabálytalan



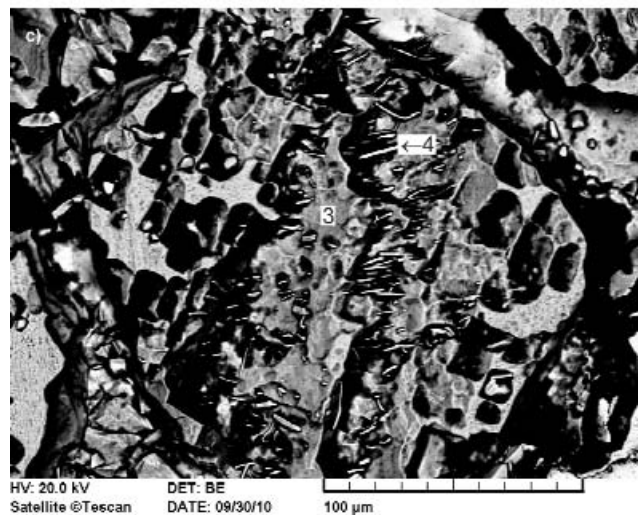
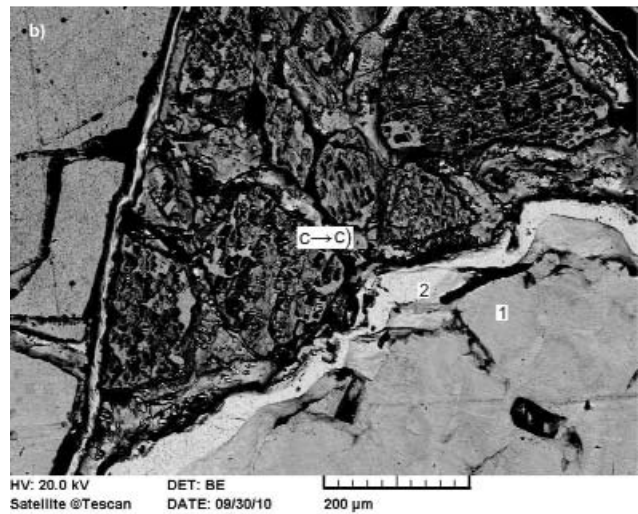
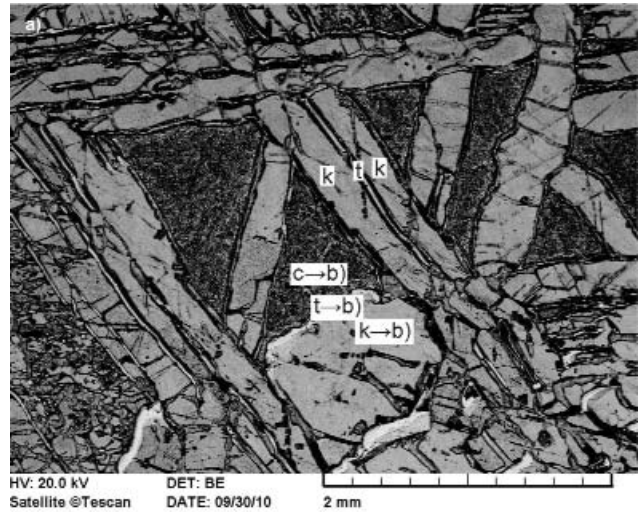
### 12. ábra

a) Viszonylag széles peremű – kamacittal (k) és ténittel (t) erősen tagolt – nagy szemcsékkel záródó lemezt, továbbá vegyes szemcseméretű plesszitet (p) tartalmazó részleg. A világos sávok (v) valószínűleg másodlagos eredetűek. b) Nagyméretű kerekded kamacitkristályok (k), továbbá teljesen szabálytalan alakú, és erősen vegyes szemcseméretű rész (p), valamint megközelítőleg kerekded kristályhalmazok alkotta plesszitet, ill. kondenzációs fémszemcsék (kof). Pásztázó elektronmikroszkópi felvétel (8c ábra, lásd a IV. táblázatot)

### Figure 12

a) Part of the meteorite containing plate with relatively wide rim and terminated by large grains. The plate is heavily dissected by kamacite (k) and taenite (t). This part contains plessite (p) with various grain size. Bright bands (v) are probably of secondary origin. b) Large rounded kamacite crystals (k), and highly irregular part of the meteorite with various grain size (p) as well as plessite composed of almost rounded crystal aggregates, and metal grains of condensation origin (kof). SEM-image (Figure 8c, see Table IV)

alakú ~0,05–0,3 mm-es méretű képződmények egyaránt megfigyelhetők (12. ábra, a, b). A kissé kerekded átmetszetű kamacitot gyakran 34,5–36,0% nikkelt tartalmazó ténit övezi (12. ábra, b; IV. táblázat). A lemezek közötti teret helyenként az eredeti kondenzációs fémszemcsékre, vas-nikkelt ötvözetekre emlékeztető kerekded átmetszetű — gömbszerű — szemcsék töltik ki (12–13. ábra). A 30,97%



Ni-t tartalmazó ténittel övezett szemcséken jellegzetes elváltozás, olvadás, újrakristályosodás ment végbe. Ezáltal az eredetileg (feltehetőleg) homogén, kondenzációs eredetű vas-nikkelt ötvözetekből teljesen szabálytalan alakú kamacit–ténit halmazok, valamint 37,7% nikkelt tartalmazó, megközelítőleg párhuzamos elrendeződésű sajátos tús kristályok alakultak ki (13. ábra, c). Ezek szerint a

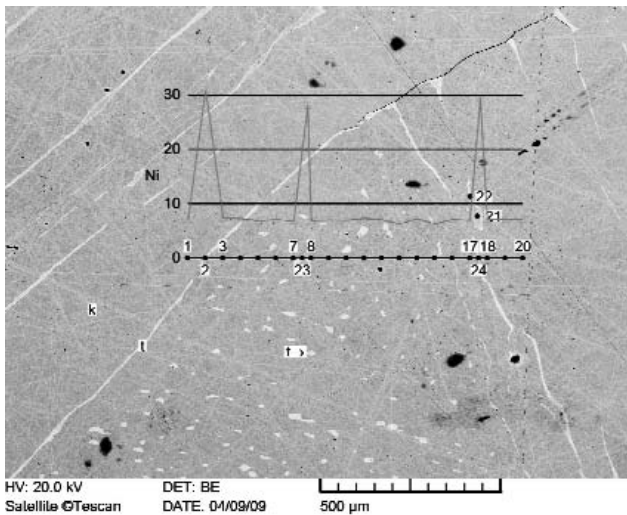
## 13. ábra

a) Változatos alakú, szemcseméretű és összetételű plesszitet tartalmazó Widmanstätten-szerkezetű részleg. „c” – kondenzációs fémzemcsék maradványaiból álló „plesszit”. k = kamacit, t = ténit, k→b és t→b a b ábrán jelölt mérési pontok. b) A nagy kamacit-kristályokon, és a – feltehetően másodlagos – ténitsávon végzett mikrosonda-elemzések helyei 1: Ni = 6,64% (kamacit), 2: 30,97% (ténit). A „c” az eredeti kondenzációs fémzemcsék maradványai. c) A c-vel jelölt, részlegesen átalakult – kamacitból és ténitből (tűs kristályokból) álló – kondenzációs eredetű fémzemcsék szerkezete. 3: Ni = 6,97%; 4: 37,66%. (8b ábra, lásd a IV. táblázatot)

## Figure 13

a) Widmanstätten structure containing plessite of various form, grain size and composition. „c” are relics of primary metal grain of condensation origin plessite. k = kamacite, t = taenite, k→b and t→b are measurement points on Figure 13b. b) Microprobe analyses points on large kamacite grains and – presumably secondary – taenite band 1: Ni = 6.64% (kamacite), 2: 30.97% (taenite). „c” are relics of metal grains of condensation origin. c) Structure of partially altered metal grains of condensation origin (marked by “c”), consisting of kamacite and taenite (needle forming crystals). 3: Ni = 6.97%; 4: 37.66%. (Figure 8b, see Table IV)

szolarisköbbeli fémzemcsék ütközésével — akkumulációjával — keletkezett kozmikus test hőmérséklete az alkotórészek teljes megolvadása és homogenizálódása előtt az olvadási intervallum alá csökkent.

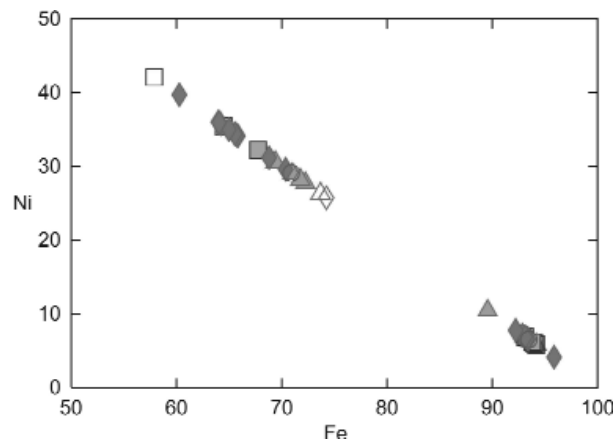


14. ábra. Kamacit- és ténitlemezeket érintő, plessziten áthaladó sorelemzés mérési pontjai (8b ábra, IV. táblázat)

Polírozott felület, pásztázó elektronmikroszkópi felvétel. k = kamacit, t = ténit

Figure 14. Measurement points traversing kamacite and taenite plates and plessite (Figure 8b, Table IV)

Polished surface, SEM-image. k = kamacite, t = taenite



15. ábra. Kamacit és ténit nikkeltartalmának intervalluma

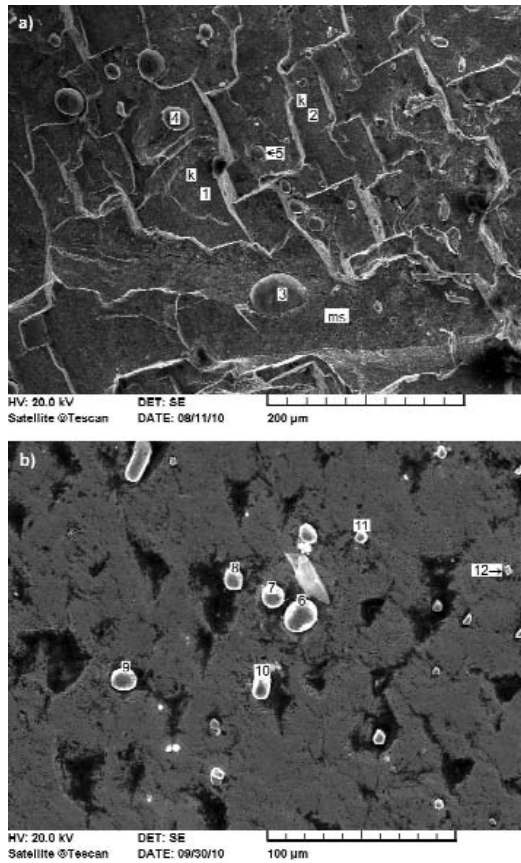
Figure 15. Interval of Ni-content in kamacite and taenite

A mikrosonda-vizsgálatok, valamint az analitikai elektronmikroszkópi elemzések szerint a kamacitlemezek és a plessziten belüli szemcsék összetétele kissé eltérő, illetve ingadozik. A kétféle megjelenésű kristályfázis átlagos nikkeltartalmában azonban lényeges eltérés nem állapítható meg (14. ábra). A ténit változatosabb összetételű, a vas és a nikkeltartalmában a lemezekben, valamint a plessziten belüli szemcsékben egyaránt nagy eltérések észlelhetők (III–IV. táblázat), de a változás folyamatos, hézagmentes (15. ábra). Egyes lemezekben és szemcsékben a nikkeltartalom kiemelkedő, a 45%-ot is megközelíti. A kamacit és a ténit nikkeltartalmában a szélső értékek (kamacit: legnagyobb 7,1%, ténit: legkisebb 27%) között is nagy különbség, határozott összetételi intervallum „elgyedési hézag” állapítható meg. Az analitikai elektronmikroszkóppal a plessziten belül képi megjelenítés nélkül kimutatott 13,8 és 10,3% nikkelt tartalmazó szemcsék szerkezete —  $\alpha$ - vagy  $\gamma$ -vas — ezideig ismeretlen. Ezzel gyakorlatilag azonos mennyiségű (10,4%) Ni-t a 14. ábrán látható kisméretű másodlagos nyúlványszerű halmazban (21) is kimutattunk. A két mérési pont nikkeltartalmában azonban jelentős különbség van (22 = 28,2%), ami az összetétel folyamatos változása mellett arra utalhat, hogy a mérés — a kis szemcseméretből adódóan — kamacitot és ténit egyaránt érinthetett.

Következtetésekként rögzíthetjük, hogy a kétféle szemcseméretű és összetételű plesszitet, a finomszemcsés változat kezdetleges Widmanstätten-szerkezetére utaló részlegeit, a fémzemcsé-reliktumok (vas-nikkel ötvözet), továbbá a nikkeltartalmának jelentős ingadozása, a primer (elsődleges) kozmikus test-képződés nemegyensúlyi folyamatára utalnak. Mindez, továbbá a vékony (többnyire néhány  $\mu\text{m}$ -es) ténitlemezek — a számos kísérleti adat (GOLDSTEIN & OGILVIE 1965, WOOD 1968, RASMUSSEN et al. 1995, ULFF-MÖLLER et al. 1995, HAACK et al. 1996 stb.) szerint a primer kaposfüredi kozmikus test viszonylag gyors hűlését, és alacsony hőmérsékleten (~400–500 °C-on) történt végleges megmerevedését valószínűsíti.

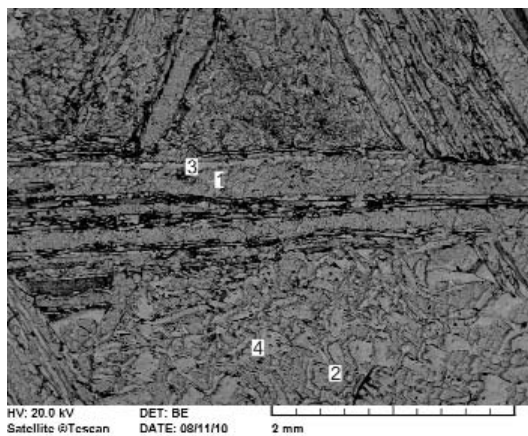
A IVA szerkezetű testben részleges — a meteorit eredeti heterogén összetételének, és az inhomogén hőeloszlásnak megfelelően — változatos olvadás ment végbe. Ennek eredményeképpen a vasnál némileg kisebb hőmérsékleten olvadó nikkelt képződő cseppfolyós fázisban az eredeténél, illetve az átlagosnál többnyire lényegesen nagyobb részarányt képvisel. Ebből adódóan az egyes kamacitkristályokban képződött — helyben maradt — valamint a lemezeket és a plesszitet egyaránt harántoló olvadék megmerevedésével túlnyomó részben változatos megjelenésű ténitkristályok, új kristályformák keletkeztek. Kezdetben különböző méretű gömbök (16. ábra), növekvő olvadékképződés esetén teljesen szabálytalan alakú halmazok (17–18. ábra), a plessziten belül jellegzetes elváltozások–átalakulások (1. később 19–23. ábra), továbbá többnyire széles, „szagatott” sávok (1. később 24–25. ábra) megjelenésével párhuzamosan a kozmikus test szerkezete–szövete is jelentősen módosult.

A maximum 60  $\mu\text{m}$  átmérőjű másodlagos gömböket (16. ábra) kizárólag 34–36%, illetve 36–39% nikkelt tartalmazó



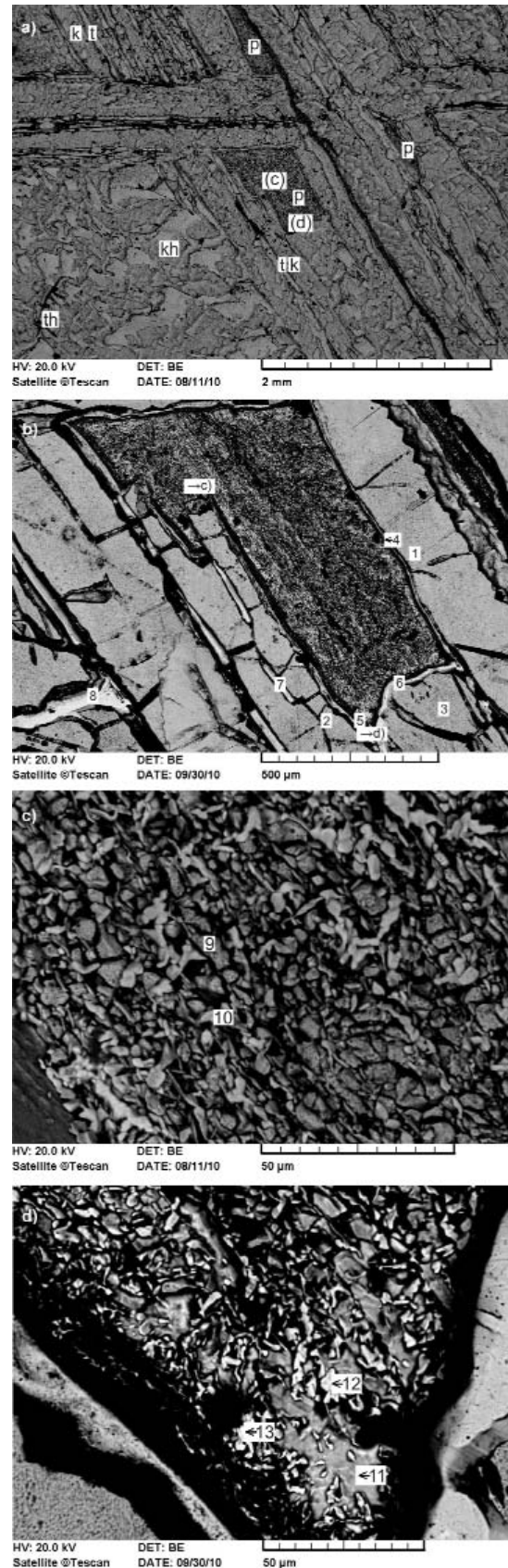
16. ábra (a, b). Részben négyzet és téglalap alakú kamacitban (k), valamint egy harántoló másodlagos sávban (ms) lévő – különböző méretű – ténitgömbök pásztázó elektronmikroszkópi felvétele. A számok a mérési helyeket jelölik (IV. táblázat)

Figure 16 (a, b). SEM-image of taenite spheres of different size, located partly in kamacite (k) of square and rectangle form as well as in a transecting secondary band (ms). Numbers refer to measurement points (Table IV)



17. ábra. Viszonylag széles peremű, erősen tagolt belsejű, többnyire megközelítőleg négyzet-téglalap alakú szemcsékből álló kamacitlemezeket, továbbá teljesen szabálytalan megjelenésű kamacit- és ténitthalmazokat, valamint nagyon finomszemcsés részleteket tartalmazó polirozott-maratott felület pásztázó elektronmikroszkópi felvétele. A kamacit és a ténit Ni-tartalma %-ban: 1 = 6,88; 2 = 7,14; 3 = 35,96; 4 = 35,02 (IV. táblázat)

Figure 17. SEM image of polished-etched surface consisting of kamacite bands with relatively wide rim and highly dissected internal structure (roughly square and rectangle forming grains), and very fine-grained parts. Ni-content of kamacite and taenite in w%: 1 = 6.88; 2 = 7.14; 3 = 35.96; 4 = 35.02 (Table IV)



## 18. ábra

a) Kamacitszemcsés peremű (k), kamacit-, valamint ténitsávokkal (t) erősen tagolt lemezeket, teljesen szabálytalan megjelenésű halmazokat (kh, th), továbbá változatos alakú és méretű, igen finomszemcsés plesszitet (p) tartalmazó meteoritész pásztázó elektronmikroszkópi felvétele. (c) = c jelű, (d) = d jelű kép. b) A finomszemcsés plesszít körüli mérési pontok. 1-2 - kamacitlemez, 3 - nagy kamacitszemcsé, 4-6 - finomszemcsés plesszít körüli ténitsáv, 7 - ténitlemez, 8 - széles másodlagos ténitsáv. A finomszemcsés plessziten belül gyenge sávosság látható. c) A plesszít felső részének (→c) szövete és fázisösszetétele: 9 - kamacit (Ni: 7,78%), 10 - ténit (Ni: 39,73%); (IV. táblázat). d) A plesszít alsó részének (→d) szövete és fázisösszetétele: 11 - kamacit (Ni: 6,63%), 12 és 13 - ténit (Ni: 44,22% és 42,45%). A finomszemcsés plessziten a ténit nikkeltartalma kiemelkedő, de a kamacit is jelentős (IV. táblázat, 8c ábra).

## Figure 18

a) SEM image of plates with kamacite rim (k), highly dissected by kamacite and taenite bands (t), and irregular aggregates (kh, th), as well as meteorite part of fine-grained plessite (p). (c) = Figure 18c, (d) = Figure 18d. b) Measurement points around fine-grained plessite. 1-2 - kamacite plate, 3 - large kamacite grain, 4-6 - taenite band around fine-grained plessite, 7 - taenite plate, 8 - wide secondary taenite plate. Slight banding can be seen inside fine-grained plessite. c) Texture and phase composition of the upper part of plessite (→c): 9 - kamacite (Ni: 7.78%), 10 - taenite (Ni: 39.73%); (Table IV). d) Texture and phase composition of the lower part of plessite (→d): 11 - kamacite (Ni: 6.63%), 12 and 13 - taenite (Ni: 44.22% and 42.45%). Ni content in fine-grained plessite is outstanding, but is also high in kamacite (Table IV, Figure 8c)

ténit alkotja (IV. táblázat). A kamacitkristályok peremén vékony másodlagos ténitsávok alakultak ki, a plesszitekből (és egyes lemezekből) pedig többnyire szabálytalan alakú ténit-, ritkábban kamacithalmazok is keletkeztek. (Az utóbbiak részben reliktumok — 18. ábra.) A lemezek között, illetve többnyire a lemezekben belül kamacitból és ténitből álló — vékony ténitsávval övezett — finomszemcsés részleg alakult ki, amelynek peremén helyenként olvadási-újrakristályosodási nyomok (másodlagos kristályfázisok) is láthatók (18. ábra, b). A kamacitlemezek és -szemcsék kémiai összetételében lényeges eltérés nem észlelhető, a kétféle megjelenésű ténit Fe:Ni arányában azonban jelentős különbségek mutatkoznak. A vékony sávok 31,02–34,68% nikkeltartalma mellett a finomszemcsés részlegben a Ni koncentrációja a 44%-ot is meghaladja (39,73–44,22%). A meteorit egyes részeiben rendkívül heterogén „plesszrendszer” alakult ki, ami esetenként a primer szerkezettel is

## 19. ábra. Különböző szerkezetű és összetételű részletek

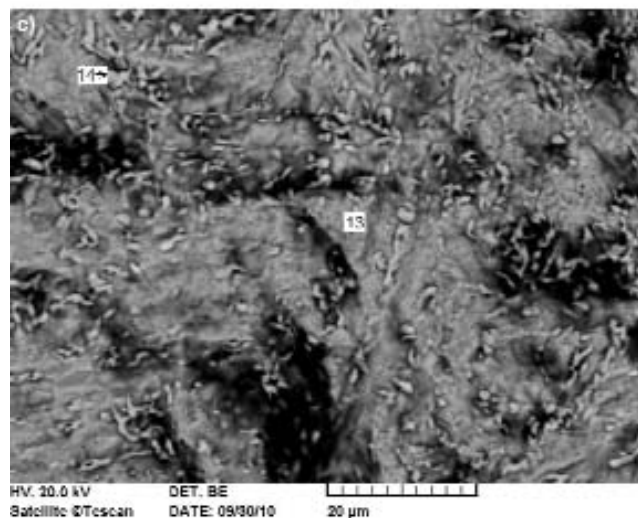
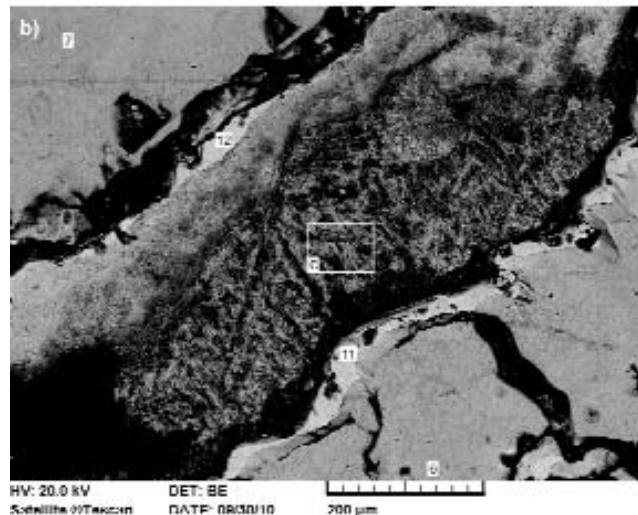
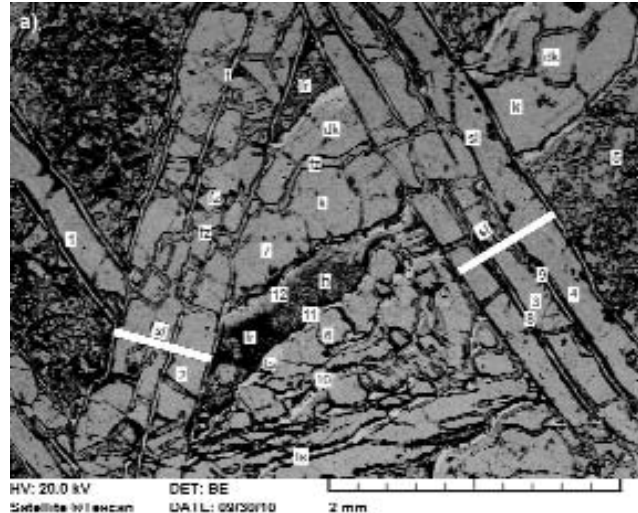
a) Viszonylag széles lemezekből (sl) és nagyméretű kamacitszemcsékből (dk), továbbá rendkívül változatos méretű és összetételű „plesszitekből” álló erősen heterogén meteoritész szerkezet. A széles lemezekkel (sl) határolt „plesszitet” nagyméretű, megközelítőleg kerekded szemcsék (pontosabban kamacitból álló kristályhalmazok), továbbá különböző szabálytalan, nyúlt alakulatok, másodlagos ténitsávok (ts), valamint finomszemcsés részek (fr) alkotják. Mindez — részben — a kémiai összetételben is tükröződik (IV. táblázat). A széles lemez (sl) a nagyméretű szemcséket, a „zézugos” sávok (fz) pedig a lemezeket is harántolják, ami egymásutániságot, részben másodlagos folyamatokat jelez. A finomszemcsés rész azonban nem érintik (lásd a b jelű képet). b) A széles lemezekkel határolt plesszít nagyméretű kamacitkristályai (kristályhalmazai), peremi nikkelsáv, valamint különböző gyenge orientációjú elemekből álló „zavaros” finomszemcsés részleg (fr). A kamacithalmaz Ni-tartalma %-ban: 6 = 6,83; 7 = 6,59. A ténitsáv Ni-tartalma %-ban: 11 = 30,50; 12 = 27,73. c) A b jelű képen c-vel jelölt rész felhőszerű kamacitból, és részben gyengén orientált elrendeződésű szemcsés ténitből álló finomszerkezete. A két kristályfázis Ni-tartalma %-ban: 13 = 4,27; 14 = 27,62 (IV. táblázat, 8c ábra).

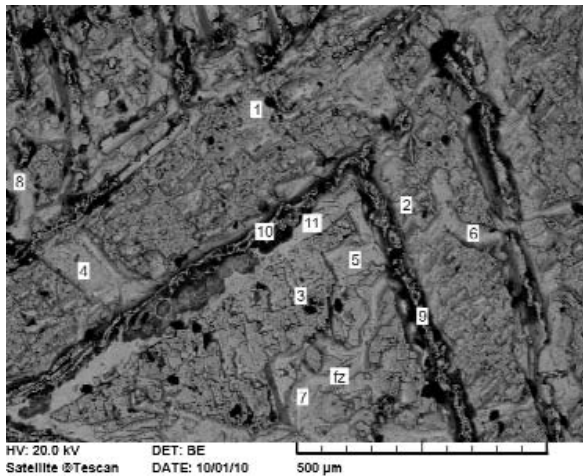
## Figure 19. Parts with different structure and composition

a) Very heterogeneous meteorite structure consisting of relatively wide plates (sl), large kamacite grains (dk) and plessite of extremely various size and composition. The plessite, bounded by wide plates (sl), consists of large, rounded grains (more precisely kamacite crystal aggregates), as well as different irregular elongated structural features, secondary taenite bands (ts), and fine-grained parts (fr). All that is — partly — reflected in the chemical composition (Table IV). The wide plate (sl) transects the large grains, while the zigzag-like bands (fz) transect the plates too, which points to successivity, partly secondary processes. However the fine-grained part remained untouched (see Figure 19b). b) Large kamacite crystals (crystal aggregates) in plessite bounded by wide plates, Ni-rim, as well as obscured fine-grained part with slight orientation (fr). Ni-content of kamacite aggregate in w%: 6 = 6.83; 7 = 6.59, and that of taenite band: 11 = 30.50; 12 = 27.73. c

) The fine structure of area c in Figure 19b, consisting of cloudy kamacite and in part slightly oriented grainy taenite. The Ni-contents of the two phases (%): 13 = 4.27; 14 = 27.62 (Table IV,

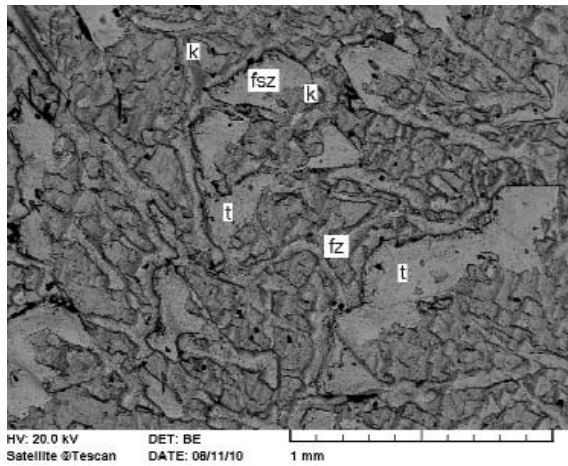
összefügghet. Néhány — 15–20 — négyzetmilliméteres területen belül ~1–20 µm-es méretű, megközelítőleg kerekded alakulatok, továbbá „zavaros”, sávyszerű részleg egyaránt megfigyelhetők. Mindezek a változatos formák, képződmények, egyes kamacit- és ténitlemezekkel határolt részen belül együtt is megjelennek. Ennek jellegzetes





20. ábra. Jelentős mértékben átalakult, lemezeket lényegében csak maradványként, vagy egyáltalán nem tartalmazó, fűgyszerű, zezgus (fz) másodlagos alakzatokból álló meteoritrész. 1–8 kamacit, 9–11 ténit. Az elemzési adatokat a IV. táblázat tartalmazza (lásd még 8b ábra)

**Figure 20.** Considerably altered part of the meteorite containing plates as relics or not at all, with worm-like, zigzag forming (fz) secondary features. 1–8 kamacite, 9–11 taenite. Chemical analyses data are in Table IV (see Figure 8b)



21. ábra. Túlnyomó részben másodlagos kristályfázisokból, fűgyszerű, zezgus (fz), valamint szabálytalan, foltszerű (fsz) alakzatokból álló meteoritrész. A zezgus képződményeket és a négyzet-téglalap alakú formákat kamacit (k), a köztes halmazokat pedig ténit (t) alkotja (lásd még 8c ábra).

**Figure 21.** Part of the meteorite consisting predominantly of secondary crystal phases, worm-like, zigzag forming (fz) and irregular, spot-like (fsz) features. The zigzag forming features and the square-rectangle structures are kamacite (k), while the aggregates in-between are taenite (t) (see Figure 8c)

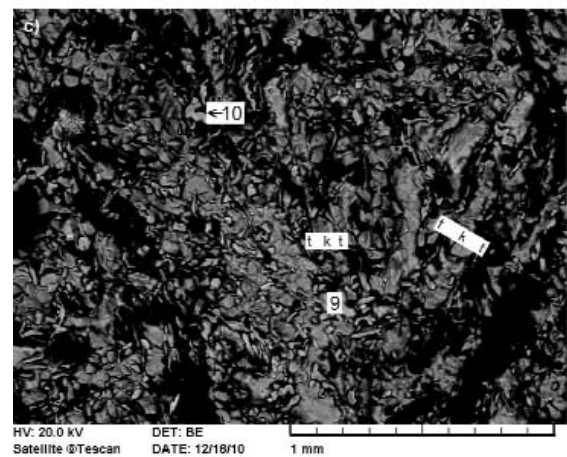
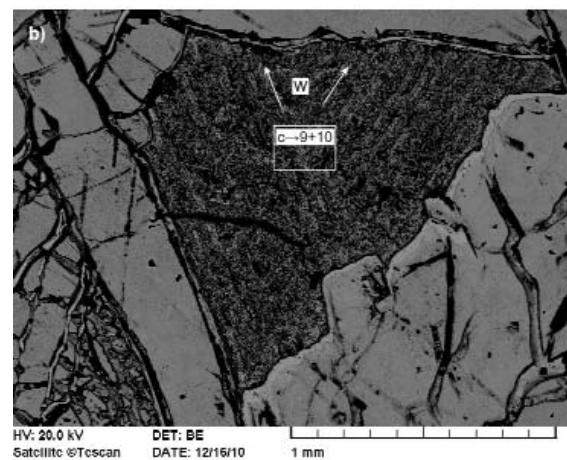
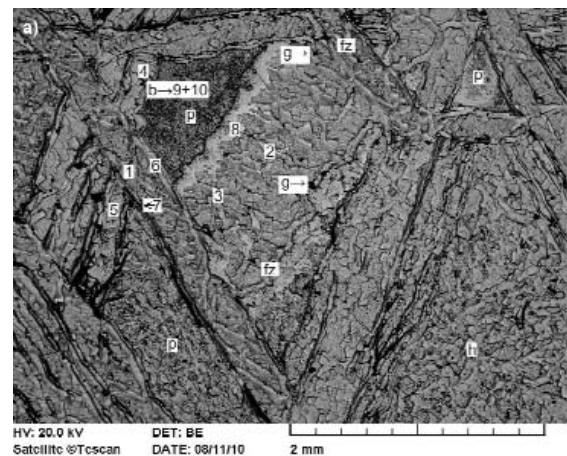
## 22. ábra

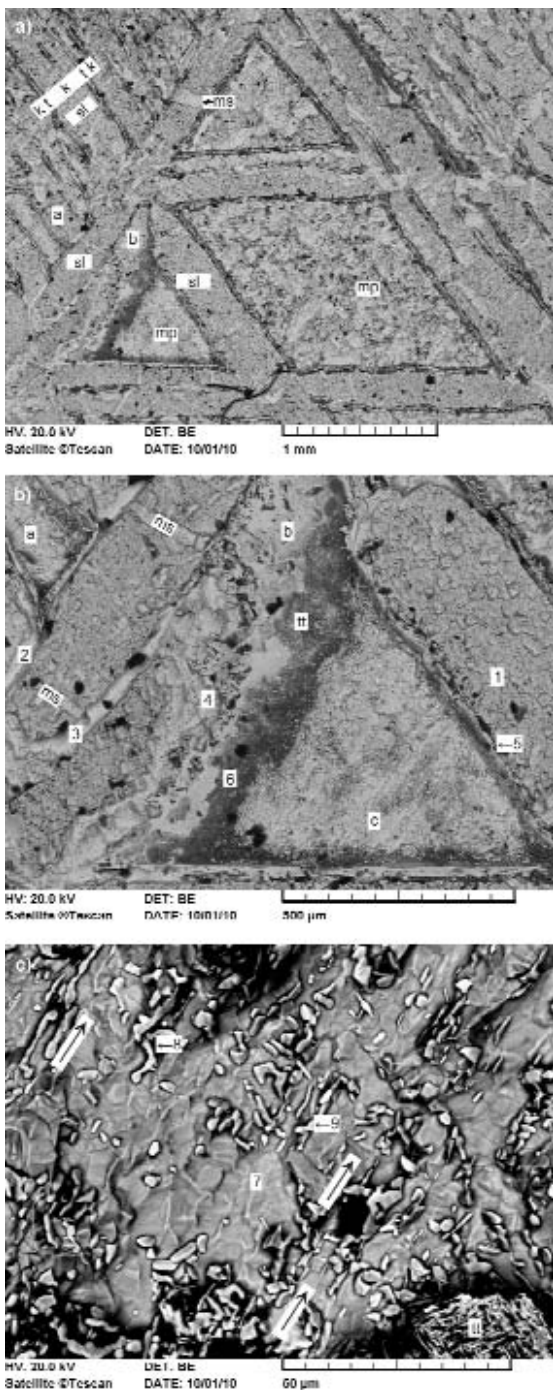
a) Jelentős mennyiségű - átalakult - szemcsehalmazból (h), változatos elrendeződésű és formájú sávszerű, zezgus alakulatokból (fz), továbbá különböző méretű, alakú, és összetételű plesszítből (p) álló - túlnyomó részben másodlagos - meteoritszerkezet. Elemzési adatait a IV. táblázat tartalmazza. (lásd még 8c ábra) g = grafit. 1–5 kamacit, 6–8 ténit. b) Kezdetleges Widmanstätten-szerkezetre emlékeztető sávos, finomszemcsés plesszít. A lemezek irányát a fehér nyilak mutatják. c) A finomszemcsés plesszít négyzetrel jelzett részének nagyított képe. Az esetleges kezdetleges Widmanstätten-szerkezetre utaló sávfelelések a nagyított képen is felismerhetők (t k t). A nikeltartalom %-ban: 9 = 6,90; 10 = 38,96%.

## Figure 22

a) Meteorite structure of predominantly secondary origin consisting largely of altered aggregates (h), variously arranged band-like and zigzag forming features (fz) of different forms, and plessite (p) with different size, form and composition. Chemical analyses data are in Table IV (see Figure 8c) g = graphite. 1–5 kamacite, 6–8 taenite. b) Fine-grained band-like plessite resembling slightly to Widmanstätten structure. White arrows point to plate directions. c) Enlarged image of the square-marked part of fine-grained plessite. The rudimentary Widmanstätten-like structure manifested in band-like features can be recognized in the enlarged image, too (t k t). Ni-contents in %: 9 = 6.90; 10 = 38.96

példája, a 19. ábrán (a) látható. A széles lemezek közötti durvakristályos rész (dk) az egyik határoló lemezen túl is folytatódik. Az éles, egyenes határvonal azt valószínűsíti, hogy a lemez harántolja a „durvaszemcsés” kamacitot, azaz némileg későbbi, de megközelítőleg egyidejű keletkezésű. A másodlagos olvadék azonban mindkét alakulaton áthaladt (fz), de a finomkristályos részt (fr) nem érintette (19. ábra, a). Ez arra utal, hogy a finomszemcsés változatok a 19. ábrán (a) látható lemezeken belül és kívül egyaránt a részleges újraolvadás eredményeképpen keletkeztek. A nikeltartalom a kamacitlemezekben és a nagy szemcsékben, valamint a vékony ténitekben átlagos (19. ábra, 1–8), a „zavaros” finomszemcsés részt övező ténitsávokban (19.





### 23. ábra

a) Olvadás-újra kristályosodás eredményeképpen erősen átalakult, részben másodlagos sávokkal (ms) harántolt, ténítsávokkal tagolt széles kamacit-lemezekből (sl, k, t, k), valamint változatos összetételű, főleg másodlagos kristályok alkotta plesszitből (mp), továbbá kevés grafit szemcséből álló meteoritrészlet (lásd 8b ábra). A grafit a lemezekben és a plesszitben egyaránt megjelenik. (Az a és a b két ábra azonos részét jelzi.) b) A b-vel jelölt felhőszerű megjelenésű „plesszit”, valamint a többnyire másodlagos sávokkal (ms) harántolt és övezett szemcsés lemezek nagyított képe (tt = rácsozott ténit). A kamacit és a ténit nikkeltartalma %-ban: 1 = 6,71; 2 = 6,24 (+0,57 P); 3 = 6,95; 4 = 7,04; 5 = 30,02; 6 = 29,85. c) Az erősen vegyes összetételű, részben felhőszerű megjelenésű plesszit b jelű képen c-vel jelzett részének nagyított képe. A felhőszerű kamacithalmazban a kerekded, ovális, nyúlt ténitkristályok csoportokat és – a képen ÉK-i irányú – sávyszerű képleteket alkotnak. A tús szerkezetű halmaz (tt = rácsozott ténit) még tovább vizsgálendő. Nem kizárt, hogy tetra ténitkristályok alkotják. Ezt a nyúlt szemcsés ténitkristályok nagy nikkeltartalma (45%) is megerősítheti. (A nikkeltartalom %-ban: 7 = 4,90; 8 = 45,04; 9 = 41,68, IV. táblázat)

### Figure 23

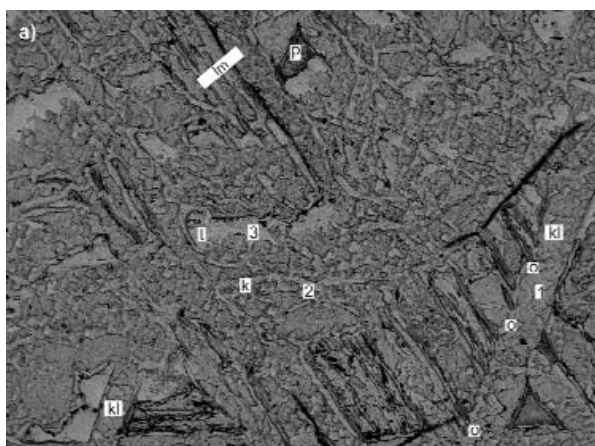
a) Part of the meteorite consisting of wide kamacite plates (sl, k, t, k) dissected by taenite bands, secondary plessite (mp) of various composition, and some graphite grains (8b). The wide kamacite plates are strongly altered by melting-recrystallization and are transected by secondary bands (ms). Graphite occurs both in the plates and plessite. (a and b marks the same area of the two figures.) b) Enlarged image of cloudy "plessite" marked by b, and of grainy plates transected and bounded by secondary bands (ms) (tt = grid-forming taenite). Ni-contents of kamacite and taenite in %: 1 = 6.71; 2 = 6.24 (+0.57 P); 3 = 6.95; 4 = 7.04; 5 = 30.02; 6 = 29.85. c) Enlarged image of Figure 23b (marked by c) showing partly cloudy plessite of strongly various composition. The rounded, oval, lengthy taenite crystals form aggregates, and band-like features (NE direction in the image) in the cloudy kamacite aggregate. The needle-structured (tt) aggregate needs further investigation. It cannot be excluded that they are tetra taenite crystals. The high Ni-content (45%) of the grainy-lengthy taenite aggregates is in consent with such an explanation. (Ni-content in %: 7 = 4.90; 8 = 45.04; 9 = 41.68; Table IV)

lényegesen több nikkelt tartalmaznak (IV. táblázat). Mindez — számos mérésponton észleltekkkel összhangban — nem-egyensúlyi kristályosodási folyamatra utal.

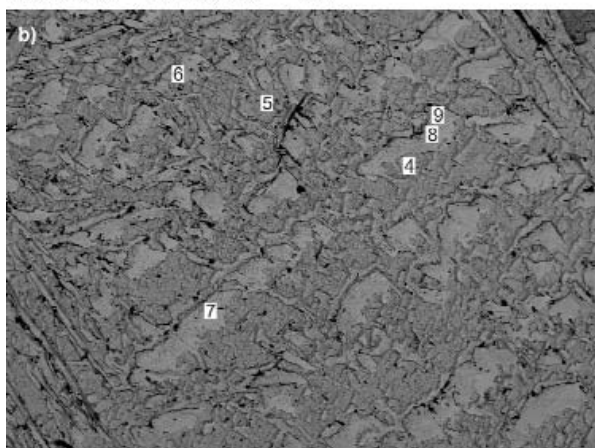
A lemezek és az elsődleges plesszit helyenként teljesen eltűntek (21. ábra) vagy átalakultak jól elkülönülő, változatos kifejlődésű, részben sávok elrendeződésű másodlagos halmazokká (21–23. ábra). Ezekben belül helyenként gyenge orientációja, sőt kezdetleges Widmanstätten-szerkezetre utaló elrendeződés (22. ábra, b, c) is megfigyelhető. A széles kamacitlemezeket esetenként másodlagos ténitsávok tagolják (23. ábra, a). A részleges olvadás következtében az elsődleges plesszit erősen átrendeződött, heterogénné vált. Helyenként egymás mellett szemcsés részlegek, különböző formájú és összetételű sávok, változatos színű „felhőszerű” halmazok alakultak ki (23. ábra, a, b). A sötét halmazokban a ténitkristályok részben jellegzetes rácsozott szerkezetet (tt) alkotnak (23. ábra, b, c). A ténit nikkeltartalma a sávokban az átlagosnál kisebb (~30%), ezzel szemben a „felhőszerű” halmazokban kiemelkedő (39–45%, IV. táblázat). Eszerint a részleges olvadással felszabadult nikkeltartalom jelentős része többnyire — feltehetőleg — a kristályosodás végén kialakult finomszemcsés – „felhőszerű” plesszitben koncentrált.

A folyékony fázis változatos részarányát és mobilitását legszembetűnőbben a lemezeket valamint a plesszitet egyaránt harántoló — a maradt (érett) minták felületén szabad szemmel is jól látható (8. ábra, b–c) — sárgaréz fényű (a fényképfelvételeken az orientációtól függően barna vagy fehér színű) sávok tükrözik (24–26. ábra). A határozott orientációjú „szaggatott” sávok, és a részben szemcsés környezetük kialakulásával az adott helyeken a szerkezet (szövet) teljesen megváltozott, a lemezek, valamint az elsődleges plesszit — az olvadás-újra kristályosodás követke-

23. ábra, 11–12) azonban az átlagosnál kisebb. A „zavaros” halmaz (19. ábra, b, c) mindkét kristályfázisában (13–14) nagyon alacsony nikkeltartalom észlelhető (IV. táblázat), ami — a szövet jellegéből adódóan is — erős kioldásra utalhat. Intenzívebb olvadás esetén a folyékony fázis — olvadákfészkek kialakulása mellett — féregszerűen, zezugosan behálózta, átszötte a meteorit adott részét (20. ábra). Ebben az esetben az olvadék nagy része — az átlagostól eltérően — többnyire kamacitként merevedett meg. Ezen belül a kamacit és a ténit összetételében egyaránt jelentős eltérések mutatkoznak (Ni = 5,35–6,97, illetve 24,83–36,83%). A „lemezeket” körülvevő (határoló) „szemcsés” szaggatott ténitök (20. ábra) a plesszitbelinél



HV: 20.0 kV DET: BE  
Satellite @Tescan DATE: 08/11/10 2 mm



HV: 20.0 kV DET: BE  
Satellite @Tescan DATE: 08/11/10 2 mm

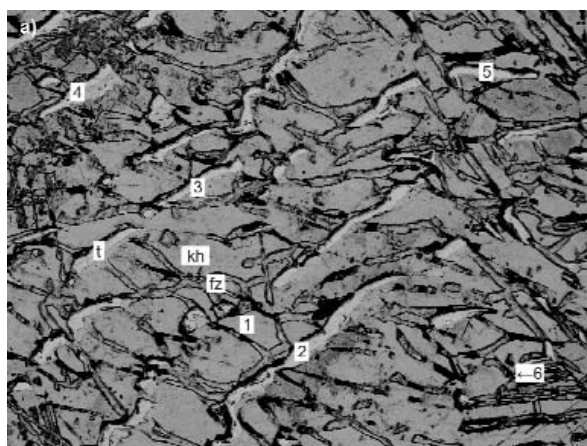
**24. ábra.** A IVA szerkezeti típusú meteorit legerőteljesebben átalakult, legnagyobb részarányban megolvadt-újra-kristályosodott, szerkezetiileg csaknem teljesen átrendeződött része (8c ábra). Pásztázó elektronmikroszkópi felvételek

a) Lemezmaradványok (lm), egy finom plesszitrész (p), a maradványokat keresztbező kamacitlemezek (kl), továbbá a primér fázisokat, az elsődleges szerkezetet harántoló-felemészítő olvadékból kivált szemcsés, négyzet-téglalap alakú kamacit- és szabálytalan megjelenésű ténit-halmazok (k, t) (8c ábra). o - olvadási-újra-kristályosodási nyomok. A kamacit és a ténit Ni-tartalma %-ban: 1 = 6,56; 2 = 6,69; 3 = 31,40 (IV. táblázat). b) Erősen átalakult, szaggatottan sávos szerkezet (10c ábra). A nikkeltartalomja a különböző mérési pontokban, tömegszázalékban: a) 1 = 6,72; 2 = 32,89; 3 = 29,77; 4 = 30,78; 5 = 34,04; 6 = 30,40; b) 7 = 32,37; 8 = 31,45 (IV. táblázat)

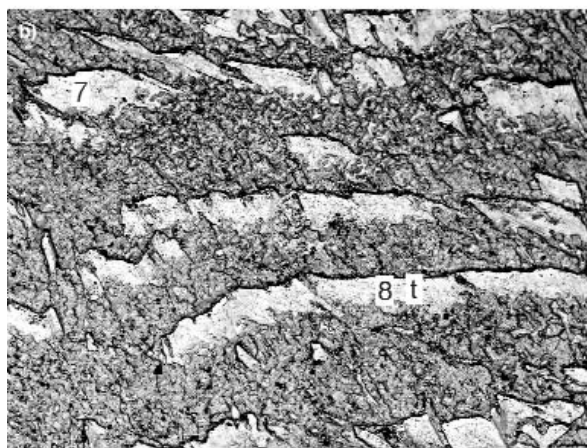
**Figure 24.** The most highly altered, melted-recrystallized in the greatest proportions, and structurally almost fully rearranged part of the IVA structural type meteorite (Figure 8c). SEM images

a) Plate relics (lm), a fine-structure plessite (p), kamacite plates (kl) crossing the relics, as well as grainy square-rectangle shaped kamacite and irregular taenite aggregates (k, t) crystallized from melt that transects and consumes the primary structure (Figure 8c). o - traces of melting and recrystallization. Ni-content of kamacite and taenite in %: 1 = 6.56; 2 = 6.69; 3 = 31.40 (Table IV). b) Strongly altered, interrupted band structure (10c). Ni-concentrations in the different measurement points (w%): 4 = 6.66; 5 = 7.14; 6 = 35.02; 7 = 35.80; 8 = 29.62; 9 = 32.17 (Table IV)

tében — eltűntek. A két rendszer érintkezése közelében a részleteiben még megmaradt eredeti szerkezetet két ~30 µm szélességű kamacitlemez harántolja, amelyeken gyenge olvadási-újra-kristályosodási nyomok is láthatók (24. ábra, a). Ez — az előzőekben már jelzett (19. ábra) hasonló jelenséggel összhangban — arra utal, hogy a harántoló lemez keletkezését kissé későbbi, de szorosan kapcsolódó folyamat eredményezte. A maratott felületeken a kamacitlemezek belső szerkezete is kirajzolódik. Eszerint a lemezeket — a kamacit szabályos, tércentrált kristályszerkeze-



HV: 20.0 kV DET: BE  
Satellite @Tescan DATE: 01/07/11 2 mm



HV: 20.0 kV DET: BE  
Satellite @Tescan DATE: 07/15/10 1 mm

**25. ábra.** Kizárólag másodlagos kristályfázisokból álló részlet. Az eredeti szerkezet teljesen átalakult

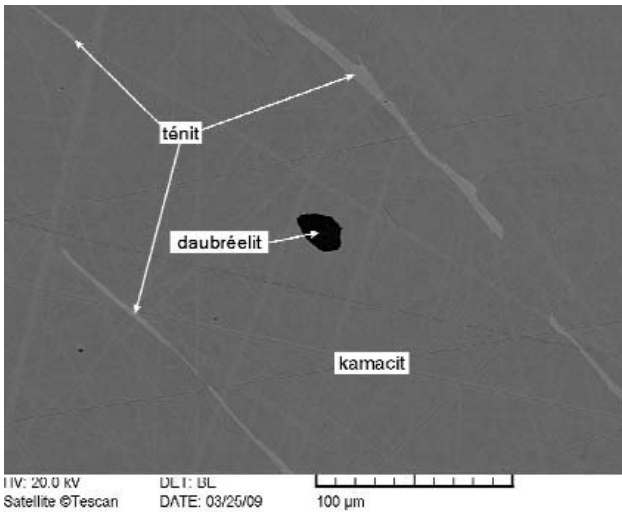
a) A szerkezet vázát alkotó kamacithalmazokat (kh) főregszertű, zegzugos (fz) ténitsávok (t) tagolják (8c ábra). b) A képen gyengén ÉNy-DK-i orientációjú (elrendeződésű) kamacit-szemcsékből (-halmazokból) álló szerkezetvázat megközelítőleg Ny-K-i irányú „szaggatott” ténitsávok harántolják (8c ábra). A nikkeltartalomja a különböző mérési pontokban, tömegszázalékban: a) 1 = 6,72; 2 = 32,89; 3 = 29,77; 4 = 30,78; 5 = 34,04; 6 = 30,40; b) 7 = 32,37; 8 = 31,45 (IV. táblázat)

**Figure 25.** Part consisting of exclusively secondary crystal phases. The primary structure has completely altered

a) Kamacite aggregates (kh) form the framework of the structure, which is being dissected by wormlike, zigzag-forming (fz) taenite bands (t) (Figure 8c). b) The NW-SE oriented kamacite grains (aggregates) that form the basic structure have been transected by W-E oriented interrupted taenite bands (Figure 8c). Ni-concentrations in the different measurement points (w%): 1 = 6.72; 2 = 32.89; 3 = 29.77; 4 = 30.78; 5 = 34.04; 6 = 30.40; 7 = 32.37; 8 = 31.45 (Table IV)

tének megfelelően — egymáshoz szorosan kapcsolódó (a felvételeken megközelítőleg négyzetes átmetszetű) építőelemek (egységek) alkotják. Ez többnyire a másodlagos kristályhalmazokon is megfigyelhető. Ezzel szemben a ténit főleg szabálytalan alakú halmazokban, és különböző formájú, többnyire széles „szaggatott” sávokban jelenik meg. Az új (másodlagos) fázisegyüttesben az összes ténit közvetlenül az olvadékból vált ki. A kémiai összetétele is sajátosan alakult. A lemezmaradványok, valamint a különböző megjelenésű elsődleges és másodlagos kamacitkristályok összetétele lényegében azonos. A ténit nikkeltartalmában azonban kis méresterületen belül is határozott eltérések észlelhetők, még a viszonylag homogénnek látszó „nagy sávrendszereken” belül is (24–25 ábra, IV. táblázat). A





26. ábra. Daubrélilit kamacitban

Polírozott felület. Pásztaező elektronmikroszkópi felvétel. A kristályfázisok kémiai összetétele tömegszázalékban: daubrélilit: Fe = 17,10; Cr = 42,59; S = 40,31; kamacit: Fe = 93,14; Ni = 6,86; ténit: Fe = 73,71; Ni = 26,29

Figure 26. Daubréelite in kamacite

Polished surface. SEM image. Chemical composition of crystal phases (in w%): daubréelite: Fe = 17.10; Cr = 42.59; S = 40.31; kamacite: Fe = 93.14; Ni = 6.86; taenite: Fe = 73.71; Ni = 26.29

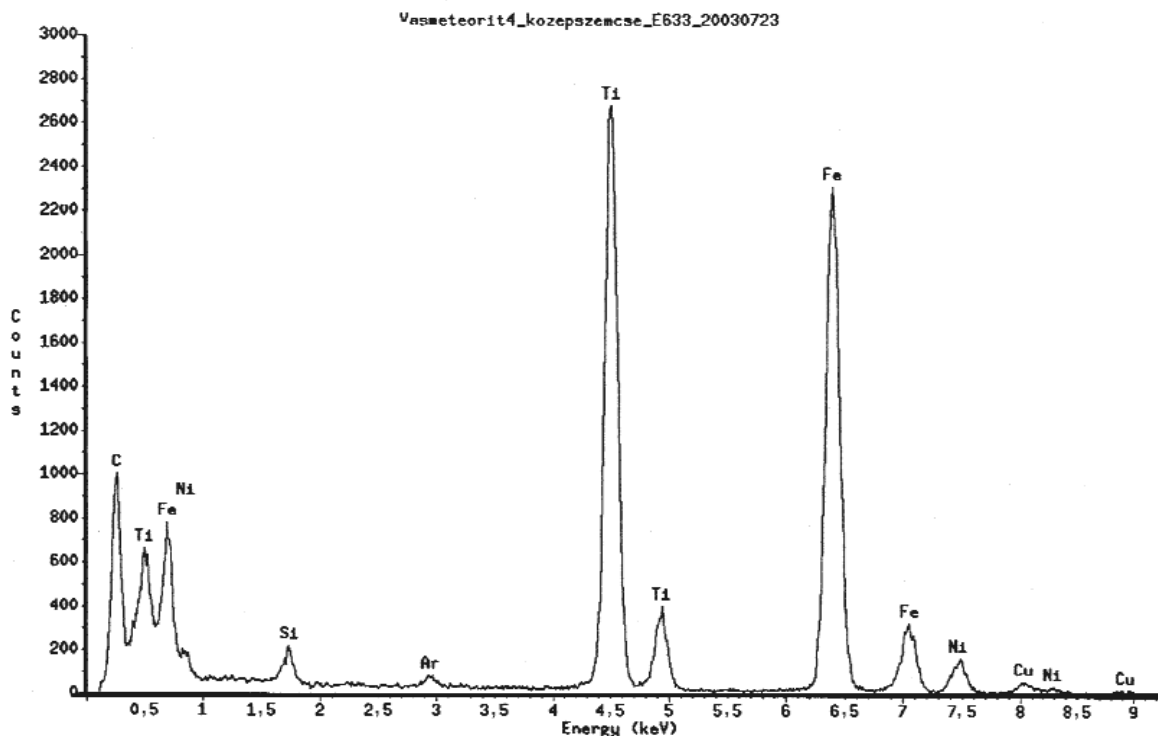
lemezmaradványoktól, illetve az olvadékkal harántolt résztől távolodva azonban a ténit nikkeltartalma csökkenni látszik. Ez részben a másodlagos ténitkristályok távolsággal növekvő részarányával is magyarázható. Ennek tisztázásához azonban — mivel a IVA szerkezeti típusú meteoritok eredeti kémiai összetétele (is) heterogén, ami a parciális

olvadással tovább növekedett — újabb, kiegészítő vizsgálatok, elemzések szükségesek.

Eddigi elemzések szerint a „másodlagos” képződmények mennyiségének (méretének) növekedésével az új ténitkristályok nikkeltartalma csökken, ami arra utalhat, hogy a hőmérséklet emelkedésével a nikkelnél kissé magasabb olvadáspontú vas egyre nagyobb részarányban kerül olvadékfázisba. Többek között főleg ezzel magyarázható a másodlagos kamacit nagyobb részarányú megjelenése, valamint a különböző másodlagos formákat (halmazokat) alkotó ténitkristályok nikkeltartamában észlelhető — az uralkodónak, ill. átlagosnak tekinthető 34%-tól esetenként pozitív és negatív irányban egyaránt jelentős — eltérés.

A IVA szerkezeti jellegű meteoritrész további fázisai közül a kozmikus testekben egyébként is ritka daubrélilit csak egy mérésponiban sikerült kimutatni (26. ábra).

Analitikai elektronmikroszkóppal eddig vizsgált mintákban a titán főelemként a vassal és a nikkellel együtt két szilárd fázisban szerepel, szén nélkül, 10,0 és 46,4% részarányban. A vas és a titán atomrádiusza közötti nagy különbségből (Fe = 0,124, Ti = 0,146 nm) adódóan az adott rendszerben vas-titán ötvözet nem alakulhatott ki.) A szén figyelembevétele nélkül 46,4% titán atomszázalékban a vas mennyiségét is meghaladja (Ti = 49,04%, Fe = 43,51%). Mivel az analitikai elektronmikroszkópi vizsgálatok szerint az elemzett minta karbóniumot is tartalmaz (27. ábra), az adott összetétel, valószínűleg,  $(\text{Ti}_{0,491}\text{Fe}_{0,436}\text{Ni}_{0,026}\text{Si}_{0,047})\text{C}$

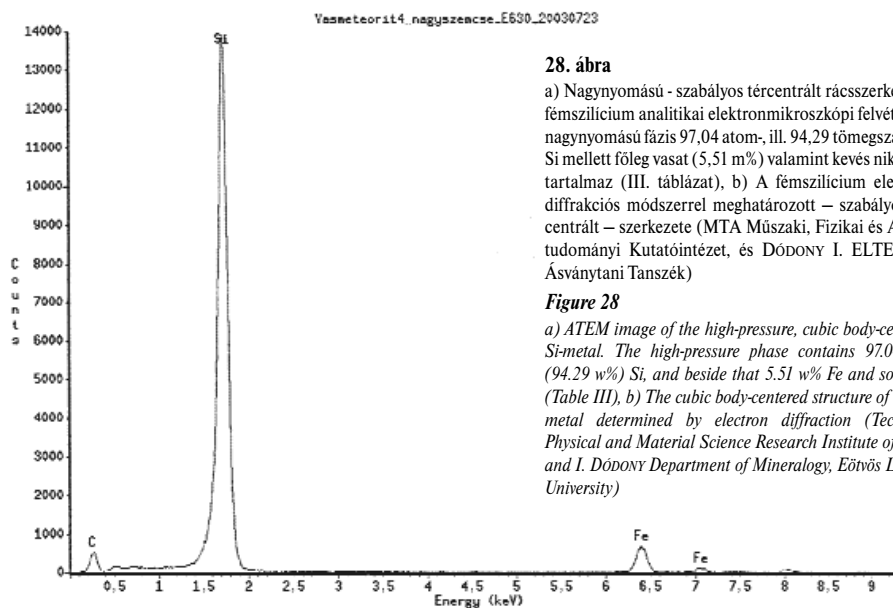


27. ábra. Titán-vas-karbid analitikai elektronmikroszkóppal felvett spektruma

Szén nélkül atomszázalékban 49,04 titánt, 43,51 vasat, továbbá 2,55 nikkelt és 4,68 szilíciumot (m%-ban: Ti: 46,36; Fe: 47,95; Ni: 2,95; Si: 2,59) tartalmazó (MTA Műszaki, Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet),  $(\text{Ti}_{0,491}\text{Fe}_{0,436}\text{Ni}_{0,026}\text{Si}_{0,047})\text{C}$  elméleti összetételű karbid

Figure 27. Spectrum of Ti-Fe-carbide obtained by ATEM (Technical Physical and Material Science Research Institute of HAS)

Chemical composition in at%: Ti = 49.04; Fe = 43.51; Ni = 2.55; Si = 4.68; (in w%: Ti = 46.36; Fe = 47.95; Ni = 2.95; Si = 2.59), that corresponds to the following theoretical composition:  $(\text{Ti}_{0,491}\text{Fe}_{0,436}\text{Ni}_{0,026}\text{Si}_{0,047})\text{C}$



28. ábra

a) Nagynyomású - szabályos tércentrált rácsszerkezetű - fémszilícium analitikai elektronmikroszkópi felvétele. A nagy nyomású fázis 97,04 atom-, ill. 94,29 tömegszázalék Si mellett főleg vasat (5,51 m%) valamint kevés nikkel is tartalmaz (III. táblázat), b) A fémszilícium elektron-diffrakciós módszerrel meghatározott - szabályos tércentrált - szerkezete (MTA Műszaki, Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet, és DÓDONY I. ELTE TTK Ásványtani Tanszék)

Figure 28

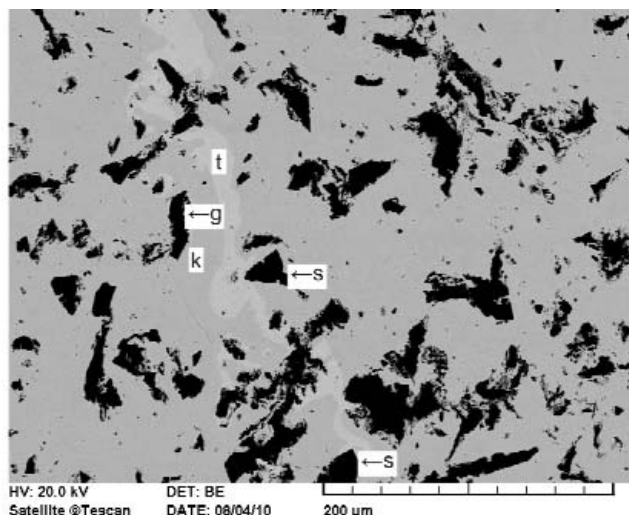
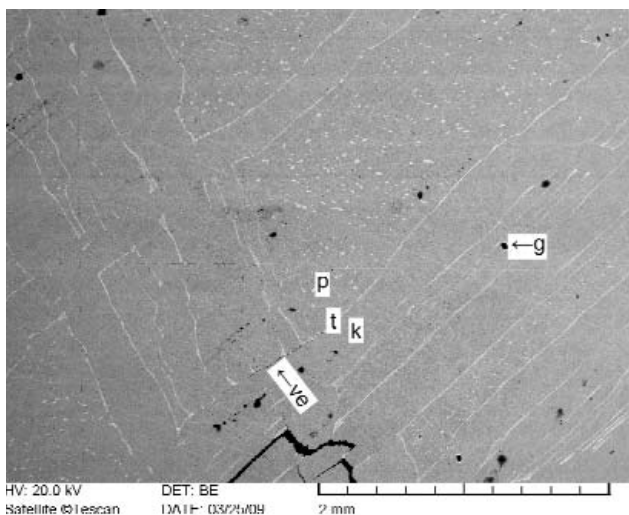
a) ATEM image of the high-pressure, cubic body-centered Si-metal. The high-pressure phase contains 97.04 at% (94.29 w%) Si, and beside that 5.51 w% Fe and some Ni (Table III), b) The cubic body-centered structure of the Si-metal determined by electron diffraction (Technical Physical and Material Science Research Institute of HAS, and I. DÓDONY Department of Mineralogy, Eötvös Loránd University)

képletű titán-vas-karbidnak felel meg. (Részletes vizsgálata, a kristályszerkezet meghatározása folyamatban van.)

WAI & WASSON (1969, 1970) vizsgálatai szerint a vasmeteoritok kevesebb mint 1%-a tartalmaz 30 µg/g-nál több szilíciumot. Legtöbbet a Tucson-ataxitban (0,80%) és a Nedagolla-meteoritban (0,14%) — ezeken belül főleg a kamacitban — mutattak ki. A kaposfüredi oktaedritben 0,20–0,90% a szilícium koncentrációja. Ez az érték azonban — noha az elemzések megfelelő tömegű anyagból készültek — kis területen belül is erősen változik. Esetenként a kamacitban jelenik meg, részben a titánnal együtt, megközelítőleg párhuzamosan növekvő koncentrációban. A ténitben lényegesen ritkábban mutatható ki. Ez — legalábbis részben — azzal magyarázható, hogy a vas a szilíciumot jól oldja, ennek megfelelően a vasban gazdagabb fázis a ténitnél

többet tartalmazhat, illetve a szétváláskor főleg a kamacitban koncentrálódhat. Ezt a folyamatot a két fém megközelítőleg azonos atomrádiusza (Fe: 0,124; Si: 0,117 nm) jelentősen elősegíti. A különböző hidrogénnyomáson végzett kísérletek (GROSSMAN 1972, LATTIMER et al. 1978, WOOD & HASHIMOTO 1993, YONEDA & GROSSMAN 1995, LODDERS & FEGLEY jr. 1998 stb.) szerint a szoláris ködből  $10^{-3}$  baron, valamint 1450 K-en kondenzálódó fémfázis mint szilárd oldat a főtömeget adó vas és nikkel mellett — a hőmérséklettől (nyomástól) függően — szilíciumot, kobaltot, valamint — feltehetően — krómot is tartalmazhat. A szilícium azonban főleg fázisalkotó főelemként, nagy nyomású, szabályos tércentrált kristályszerkezetű fémszilíciumként (28. ábra, a, b) — esetleg kis részben moissanitként (SiC) — jelenik meg.

A meteorit IVA szerkezeti jellegű része átlagban némileg több mint 1% karboniumot tartalmaz, ugyancsak erősen egyenlőtlen eloszlásban (29. ábra, a, b). A szén az eddigi vizsgálatok alapján egyértelműen grafitnak minősült. A kamacit- és ténitlemezekben, valamint a plesszitben egyaránt megjelenik, ami — legalábbis részben — preszoláris eredetre, egyes kristályok négyzetes átmetszete pedig gyémánt utáni pseudomorfózásra, chaoitra (csaoitra) utalhat. Ez azonban csak feltételezés, tisztázásához további részletes, főleg szénizotóp-vizsgálatok szükségesek. A



29. ábra. Viszonylag jelentősebb mennyiségű grafitot tartalmazó polírozott felületű minták

a) Szemcsés, részben négyzetes átmetszetű és érikítő grafit (g). A grafit szemcsék a kamacitban (k), a plesszitben (p) és részben a ténitben (t) is megjelennek. ve - szemcsés, vékony grafiterek (8b ábra), b) Nagy mennyiségű különböző alakú grafitot (g) és kevés szilíciumot (s) tartalmazó meteoritrész. (8c ábra). k - kamacit, t - ténit.

Figure 29. Polished samples containing relatively significant amount of graphite

a) Grainy, partly square-forming and vein-filling graphite (g). Graphite grains appear in kamacite (k), plessite (p) and partly in taenite (t) too. ve - grainy, narrow graphite veins (Figure 8b), b) Meteorite part containing large amount of graphite (g) with various forms, and small amount of Si (s) (Figure 8c). k - kamacite, t - taenite

kétféle érrendszerben megjelenő grafit részben — valószínűleg — kozmikus térbeli ütközéskor, de a meteorit felületén jelenleg is jól látható kitöltött és kitöltetlen repedések szerint esetleg a földi becsapódáskor keletkezhetett.

### Következtetések

1. A kaposfüredi oktaedrit eredeti szerkezete a többszöri hőhatás következtében jelentősen megváltozott. Az első szilárd fázisok — az általánostól, a megszokottól eltérően — viszonylag nagyméretű (0,5–1,0 mm átmérőjű), részben sávszerűen elrendeződött kerekded formákat alkottak. E sajátos képződményeket helyenként a némileg későbbi keletkezésű lemezes kamacit harántolja. Emellett azonban a kamacitlemezek keresztvezése is megfigyelhető. Mindezek arra utalnak, hogy a hőmérséklet-ingadozás hatására a kozmikus test primérnek nevezhető szerkezete is több szakaszban alakult ki. Ezt követte az egyre intenzívebbnek látszó parciális olvadás, amelynek eredményeképpen a lemezek részlegesen, a plesszitalakotok pedig túlnyomó részben — helyenként a lemezekkel együtt teljesen — megolvadtak. Az utóbbi esetekben az eredeti szerkezetet sajátos ténisávokból és némileg a magmás kőzetek szemcsés szövetére emlékeztető „plesszit-”ből álló halmaz váltotta fel. Ez a folyamat eredményezte a két főfázis nikkeltartalmának jelentős ingadozását. A ténisávok meteoriton belüli (annak felszínéhez közeli) elhelyezkedéséből arra következtethetünk, hogy a legintenzívebb olvadásképződés, ennek megfelelően a legerősebb átalakulás a légtérben ment végbe.

2. A nikkelt a vasnál kisebb hőmérsékleten olvad (Ni: 1455, Fe: 1538 °C), ebből adódóan a fő tömeget alkotó kamacitból, és főleg a plesszitből Ni-ben viszonylag gazdag olvadék képződik, ill. képződött. Ennek köszönhető, hogy a másodlagos fázisokat főleg ténit képviseli. A hőmérséklet emelkedésével az olvadékban a vas koncentrációja növekedett, ennek megfelelően a ténit nikkeltartalma csökkent. A vas részarányának további növekedése a kamacit és a ténit együttes képződését eredményezte. A másodlagos fázisok olvadékból való kiválását a ténit szagattottan sávos megjelenése, valamint a helyenkénti tús kifejlődése egyaránt és egyértelműen igazolja. Ezek az átalakulások nehezítik meg a kaposfüredi meteorit egyértelmű genetikai-szerkezeti besorolását.

3. Az önálló fázisként megjelenő nagynyomású szilícium sokkhatást, kozmikus térbeli ütközést valószínűsít, de a preszoláris eredet sem zárható ki.

4. A grafit a különböző másodlagos szerkezeti-szöveti típusoktól függetlenül változatlan maradt, ami — az oxidfázisok teljes hiánya mellett — arra utal, hogy az olvadási-kristályosodási folyamat redukzív vagy semleges rendszerben ment végbe.

5. A sziderofil elemek — a vas (Fe), a nikkelt (Ni), a kobalt (Co), az arany (Au), a rénium (Re), az irídium (Ir) a platina (Pt), a réz (Cu), a gallium (Ga), az arzén (As), a króm (Cr) és a volfrám (W) — koncentrációja a IVA szerkezeti típusra jellemző határértékek közé (kisebb részben fölül) esik. Mindezek egyértelműen azt jelzik, hogy a kaposfüredi oktaedrit, illetve a forrásanyaga lényegében primer, azaz kondenzációs-akkréciós eredetű.

### Irodalom — References

- BÉRCZI, SZ., FÖLDI, T., SIMONITS, A. & SZABÓ, A. 1994: Kaposfüred: a new IVA-type iron meteorite from Hungary. — In: *Lunar and Planetary Science XXIX Abstract* #1082.
- BRADLEY, J. P. 1994: Nanometer-scale mineralogy and petrography of fine-grained aggregates in anhydrous interplanetary dust particles. — *Geochimica et Cosmochimica Acta* **58**, 2123–2134.
- FÖLDI, T., KUBOVICS, I., BÉRCZI, SZ., DETRE, CS., DON, GY. 1998: Iron spherule in Kaposfüred iron meteorite from Hungary. *IGCP Ann. M. V. Budapest*, 35 p.
- GOLDSTEIN, J. J., & OGILVIE, R. E. 1965: The growth of the Widmanstätten pattern in metallic meteorites. — *Geochimica et Cosmochimica Acta* **29**, 893–920.
- GROSSMAN, L. 1972: Condensation in the primitive solar nebula. — *Geochimica et Cosmochimica Acta* **36**, 597–619.
- HAACK, H., SCOTT, E. R. D., LOVE, S. G., BREARLEY, A. J., MCCOY, T. J. 1996: Thermal histories of IV A stony-iron meteorites: evidence for asteroid fragmentation and reaccretion. — *Geochimica et Cosmochimica Acta* **60**, 3103–3113.
- KUBOVICS, I., BÉRCZI, SZ., DITRÓI-PUSKÁS, Z., GÁL-SÓLYMOS, K., NAGY, B., SZABÓ, A. 1997: Preliminary report of Kaposfüred: a new iron meteorite from Hungary. — *Acta Mineralogica-Petrographica Szeged* **38**, 111–117.
- LATTIMER, J. M., SCHRAMM, D. N., GROSSMAN, L. 1978: Condensation in supernova ejecta and isotopic anomalies in meteorites. — *Astrophysical Journal* **219**, 230–249.
- LODDERS, K., & FEGLEY, B. 1998: *The Planetary Scientist's Companion*. — Oxford University Press, 371 p.
- RASMUSSEN, K. L., ULFF-MOLLER, F. & HAACK, H. 1995: The thermal evolution of IV A iron meteorites: evidence from metallographic cooling. — *Geochimica et Cosmochimica Acta* **59**, 3049–3059.
- SCOTT, E. R. D. & WASSON, J. T. 1975: Classification and properties of iron meteorites. — *Reviews of Geophysics and Space Physics* **13/4**, 527–546.
- ULFF-MRLLER, F., RASMUSSEN, K. L., PRINZ, M., PALME, H., SPETTEL, B. & KALLEMEYN, G. W. 1995: Magmatic activity on the IV A parent body: evidence from silicate-bearing iron meteorites. — *Geochimica et Cosmochimica Acta* **59**, 4713–4728.
- WAI, C. M., & WASSON, J. T. 1969: Silicon concentrations in the metal of iron meteorites. — *Geochimica et Cosmochimica Acta* **33**, 1465–1471.

- WAI, C. M., & WASSON, J. T. 1970: Silicon in the Nedagolla ataxite and the relationship between Si and Cr in reduced iron meteorites. — *Geochimica et Cosmochimica Acta* **34**, 408–410.
- WASSON, J. T. 1974: *Meteorites*. — Springer-Verlag, 316 p.
- WASSON, J. T. & RICHARDSON, J. W. 2001: Fractionation trends among IV A iron meteorites: contrasts with III AB trends. — *Geochimica et Cosmochimica Acta* **65**, 951–970.
- WOOD, J. A. 1968: *Meteorites and the origin of planets*. — McGraw-Hill Book, 117 p.
- WOOD, J. A., & HASHIMOTO, A. 1993: Mineral equilibrium in fractionated nebular systems. — *Geochimica et Cosmochimica Acta* **57**, 2377–2388.
- YONEDA, S., & GROSSMAN, L. 1995: Condensation of CaO - MgO - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - SiO<sub>2</sub> liquids from cosmic gases. — *Geochimica et Cosmochimica Acta* **59**, 3413–3444.
- Kézirat beérkezett: 2011. 10. 24.