

## **1. Bevezető**

A felsőköpeny zárványok magukon hordozzák a litoszférikus köpenyben lejátszódó folyamatokat, ezért tanulmányozásuk által betekintést nyerhetünk olyan események részleteibe is, amelyeket más közvetlen módszerrel nem vizsgálhatunk. Megismerhetjük a köpeny heterogenitását, rheológiai állapotát a kémiai elemek körforgását. Sok helyen a köpeny anyaga kémiai szempontból heterogén, ezt elsősorban a magmaeltávozás és a szubdukció által okozott gazdagodás váltja ki. A parciális olvadással a köpeny mobilis elemekben szegényedik, szubdukció hatására a földkéreg anyaga visszajut a köpenybe, ezzel gazdagítja (Harangi, 2004).

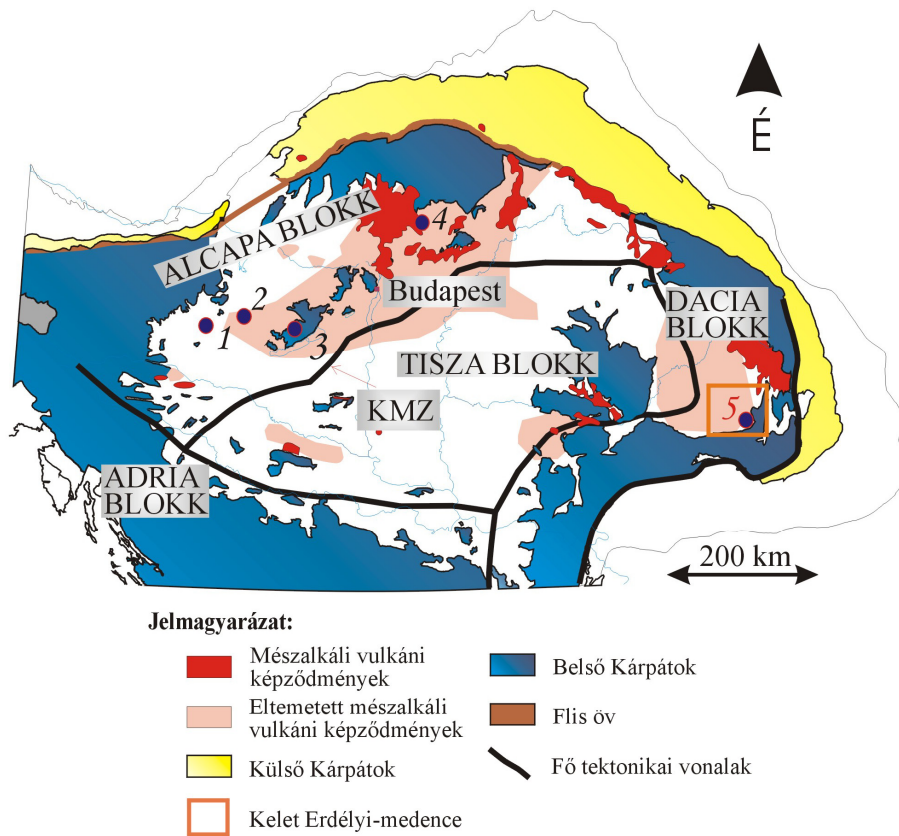
A Földön található felsőköpeny xenolitok nagy része spinell lherzolit, ami a litoszférikus felső köpeny elemi összetevője. Kisebb mennyiségben előfordul még dunit, harzburgit, ezek kémiailag szegényebb kőzetek, de megjelennek a változatosabb kémiai összetételű kőzetek is, például a wehrlit, websterit, klinopiroxenit. Az utóbbi kőzetek általában olvadékból kikristályosodott erekként jelennek meg (Wilshire és Shervais, 1975). Ezek az olvadékok a köpeny parciális olvadásának termékei (Irving, 1980). Összetett kőzetzárványoknak nevezzük azokat a zárványokat, amelyek tartalmazznak lherzolit, dunit vagy harzburgit részt és wehrlit, websterit vagy klinopiroxenit ereket is. Type I zárványnak hívjuk az többségében olivint és ortopiroxént tartalmazó xenolitokat, type II zárványnak a klinopiroxén (esetleg amfibol) tartalmú zárványokat (Frey és Prinz 1978). Az összetett kőzeteket attól függően hogy milyen a falkőzet és milyen az ér, type I/I-nek vagy type I/II-nek nevezzük. A leggyakoribbak a I/II típusú kőzetek, ez esetben a falkőzet összetétele nem egyezik meg az ér összetételével, ez azt jelenti hogy az erek folyékony, közlekedő magmából alakultak ki. Az I/I típusnál már nem lehet ezt biztosan kijelenteni, mert az ér és a falkőzet ásványos összetétele nem különbözik.

## **2. Földtani háttér**

A Kárpát-Pannon régióban az alkáli bazaltos vulkanizmus a plio-pleisztocénben játszódott le, a feltételezett Kárpátok menti szubdukció utáni extenziós erők által kiváltott parciális olvadáshoz köthető (Dövényi és Horváth 1988; Embey-Isztin et al., 1993;

Embey-Isztin és Dobosi, 1997). Alkáli bazaltos kitörések a Kárpát-Pannon régióban öt helyen történtek: a Stájer medencében, Kisalföldön, Bakony-Balaton felvidéken, Nógrád-Gömör és a Persány hegységben. Az alkáli bazaltos vulkáni tevékenység 12 millió éve kezdődött, a fő kitörések 6-2 millió évvel ezelőtt zajlottak.

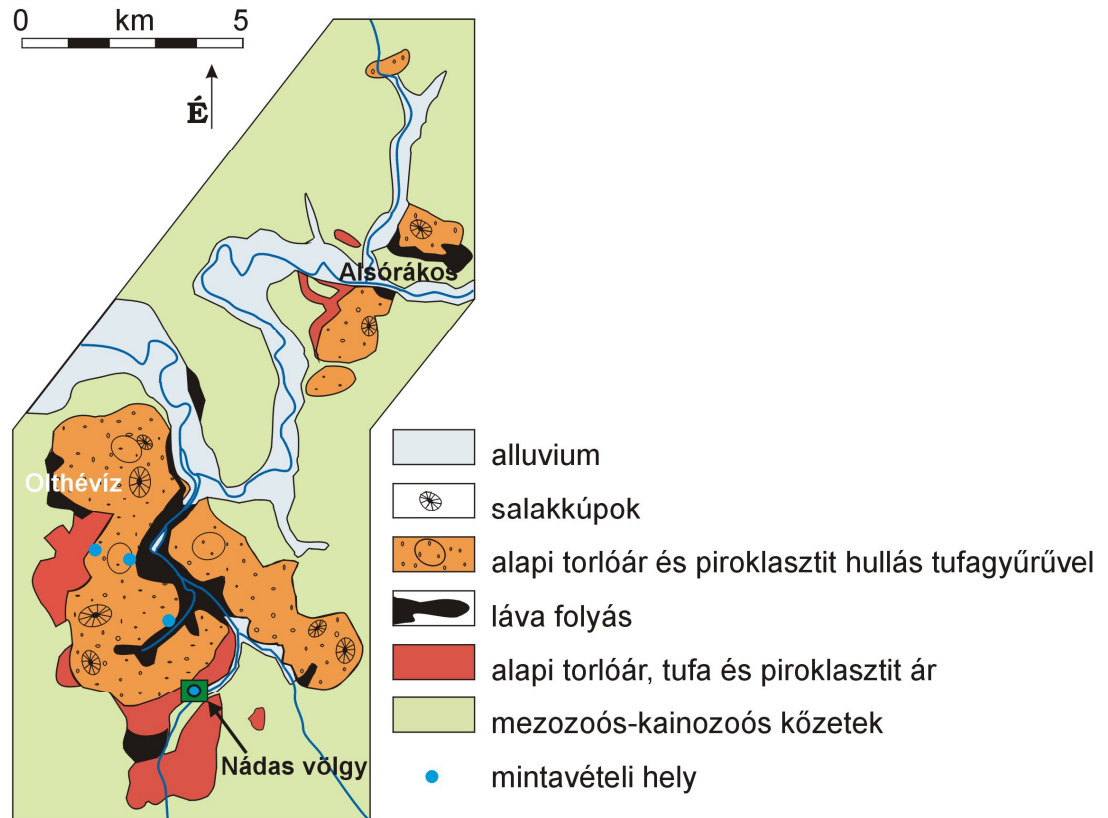
A Persány hegység az Erdélyi medence délkeleti részén terül el, az Olt folyótól északra és délre, Vaselli et al. (1995) után ez a vulkáni terület Kelet-Erdélyi medenceként (Eastern Transylvanian Basin) jutott be a nemzetközi irodalomba.



1. ábra. A Kárpát-Pannon régió vázlatos geológiai térképe a fontosabb tektonikai egységekkel, a neogén mészalkáli vulkáni képződményekkel és az öt, ultrabázisos zárványt tartalmazó plio-pleisztocén alkáli bazalt lelőhelyével: 1 – Stájer-medence, 2 – Kisalföld, 3 – Bakony–Balaton-felvidék, 4 – Nógrád-Gömör, 5 – Kelet-Erdélyi-medence. KMZ – Közép-Magyarországi Zóna

A Persány hegységi alkáli bazaltos vulkanizmusa két fő fázisban játszódott le: az első kitörés 1,2 millió éve történt, amelyet 10-20 ezer éven át kísért vulkáni tevékenység; a vulkanizmus 0,6 millió évvel ezelőtt újra kezdődik és 0,2 millió éven keresztül tart

(Panatou et al., 2004). Egy kitörés több szakaszban játszódott, freatomagmás kitöréssel kezdődött, piroklaszt szórással, ezt követte a lávaöntés, majd sztromboli kitöréssel ért véget, ami salakkúpokat eredményezett. (Panatou et al., 2004).



2. ábra. A Persány-hegységben előforduló plio-pleisztocén alkáli bazalt elterjedése, az általános vulkanológiai jellemzőkkel (Downes et al., 1995 alapján), valamint a vizsgált zárványok mintavételi helyei.

A területen található ultrabázisos xenolitokat legrészletesebben Vaselli et al. (1995) írja le. Nagyrészt lherzolitokat tanulmányoztak, de a mintáik között volt néhány amfibol tartalmú lherzolit, piroxenit is. Vizsgálataik során szubdukcióra utaló jeleket nem találtak, pedig a Persánytól északra a Hargita hegységben a mészkáli vulkanizmus a szubdukcióhoz köthető. További eredményeik azt mutatják hogy a Pannon-medence közepéhez képest sokkal magasabb fokú metasomatózist szenvedett és kevésbé deformálódott a Kelet-Erdélyi medence alatti köpeny, ezért a legjellemzőbb szövet a porfiroklasztos. A lherzolitokhoz hasonlóan a websteritek könnyű-ritkaföldfémekben

kimerítettek, de a nagy  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  és kis  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  aránya hasonlít az amfibol erekéhez, a klinopiroxenitek és az amfibol erek feltehetően ugyanolyan eredetűek, csak más-más időben képződtek (Vaselli et al., 1995)

Számos kutató foglalkozott/foglalkozik a Persány hegység alkáli bazaltjában található felsőköpeny xenolitokkal, például Szabó et al., 2004 (lásd a hivatkozásait).

### **3. Alkalmazott analitikai módszerek rövid bemutatása**

A makroszkópos leíráshoz 10x-es nagyítású lupé mellett Nikon SMZ 800 típusú sztereómikroszkópot használtam, amely során mind a kőzetmintákat, mind a vékonycsiszolatokat használtam.

A mikroszkópos részletes szöveti elemzéseket az Eötvös Loránd Tudományegyetem Kőzettani és Geokémiai Tanszékén működő Litoszféra Fluidum Kutatólaboratóriumban végeztem. Ehhez Nikon ECLIPSE LV100 POL polarizációs mikroszkópot használtam, áteső és ráeső fényben, a szöveti fényképek Nikon DS-Fi 1 digitális kamerával készültek.

A modális összetétel meghatározását a csiszolatról készített fotók és Corel PHOTO-PAINT 9 szoftver felhasználásával végeztem.

A petrográfiai vizsgálatok alapján kiválasztott xenolitokon a finom részletek megfigyelésére az Eötvös Loránd Természettudományi Egyetem, Kőzettani és Geokémiai Tanszékén működő EDAX PV 9800 energiadiszperziós röntgenspektrométerrel (EDS) felszerelt AMRAY 1830 I/T6 típusú pásztázó elektronmikroszkópot használtam (20 keV gyorsító-feszültséggel, 1-2 nA mintaáram mellett).

A kőzetalkotó ásványfázisok főelem kémiai összetétele elektronmikroszondás elemzésekkel lett meghatározva. A BKK minták JEOL SUPERPROBE JXA-8600 típusú elektronmikroszondával a Firenzei Egyetem Földtudományi Tanszékén, az ROH és TRS minták CAMECA SX100 elektronmikroszondával a Bécsi Egyetem Kőzettani Tanszékén kerültek megelemezésre. A készülékek hullámhossz-diszperzív (WDS) spektrométerrel felszerelt műszerek. A mintaáram a mérések során 10 nA, a gyorsítófeszültség 15kV, a beam átmérő  $\sim 1\mu\text{m}$  volt. A xenolitokban a kiválasztott fázisokon rendszerint 4-5

pontmérés lett végrehajtva, mind az ásvány magjában, mind a szegélyén. Az elemzések természetes standardok segítségével lettek kalibrálva. Az elemzések elemenként 40 másodperces számlálási idővel készültek. A nyers eredményeket a firenzei mérések esetében Bence Albee (1968), a bécsi méréseknél ZAF-korrekciónak alkalmazásával korrigálta a kiértékelő szoftver.

#### 4. Petrográfia

A petrográfiai vizsgálatokhoz a Litoszféra Fluidum Kutató Csoport tagjai által, több éven át tartó, szisztematikusan begyűjtött köpenyxenolitoka néztem át és ezekből választottam ki az általam vizsgált mintákat. Ezek szám szerint 15 felsőköpeny xenolitot jelentenek. Az ROH és BKK jelzésű minták a Hidegkút vulkáni kúp Északi lejtőiről, míg a TRS előjelű minták a Nádas völgyből lettek begyűjtve. Az ROH-03 jelzésű mintákat először két félbe vágtam, hogy ezáltal a felületi kontaminációt minél jobban kizárjam, a két fél mindkét oldalából készült vékonycsiszolat kivéve az ROH-03/9 mintát, amelyből egy darab és az ROH-03/2 amelyből szám szerint három darab csiszolat készült. Az egyszerűség kedvéért a petrográfiai leírásokat közetzárványonként, és nem csiszolatonként csoportosítottam, mivel jelentős különbségek nincsenek a csiszolatpárok között, ezek többnyire kiegészítik egymást.

Minta	Kőzet	Szövet	Modális összetétel				Metaszomatózis
			ol %	opx %	cpx %	spl %	
BKK25	olivin klinopiroxenit	porfiroklasztos	26		70	4	amp
ROH-03/1	wehrlit	porfiroklasztos	44		55	1	amp
ROH-03/2	olivin websterit	porfiroklasztos		30	33	2	amp, phl
ROH-03/3	klinopiroxenit	kumulát	3		95	2	amp
ROH-03/4	olivin klinopiroxenit	porfiroklasztos	35		64	1	amp
ROH-03/6	olivin klinopiroxenit	porfiroklasztos	18	2	80		amp
ROH-03/7	olivin klinopiroxenit	porfiroklasztos	30	4	65	1	amp
ROH-03/8	wehrlit	porfiroklasztos	70	5	24	1	amp
ROH-03/9	spinell lherzolit	porfiroklasztos	64	25	10	1	amp, ap
TRS2	spinell lherzolit	porfiroklasztos	65	3	30	2	amp, ap
TRS8	ortopiroxenit	kumulát		92	7	1	amp
TRS16	klinopiroxenit	kumulát		10	90		amp
TRS19	klinopiroxenit	kumulát			97	3	amp
TRS51	spinell lherzolit	porfiroklasztos	60	5	33	2	amp
TRS52	spinell lherzolit	porfiroklasztos	69	15	15	1	amp

3. ábra. A vizsgált zárványok modális összetételét, közet- és szövettípusát összefoglaló táblázat.

A minták modális összetételük alapján az ultrabázisos kőzetekre használt Streckeisen ( $M > 90$ ; Opx-Ol-Cpx) féle diszkriminációs diagram alapján a következők (3. ábra): 4

lherzolit, 4 olivin klinopiroxenit, 3 klinopiroxenit, 2 wehrlit, 1 ortopiroxenit és 1 olivin websterit van a minták között. Szöveti besorolásuk Mercier és Nicolas (1975) munkája alapján, amely az ultrabázisos kőzetek alapvető szövettípusait írja le: 11 minta porfiroklastos- (4. ábra) és 4 minta kumulát szövetű (5. ábra).

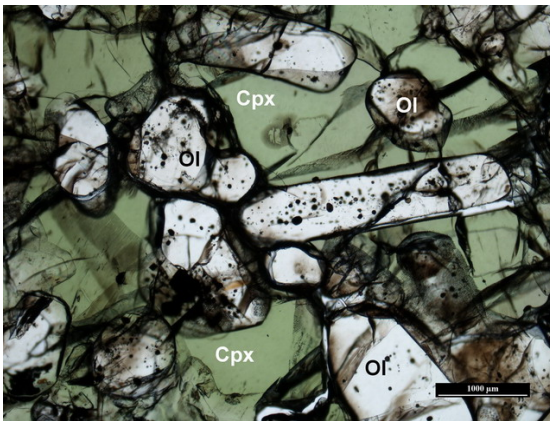


4. ábra. Porfiroklastos szövet (1N)  
*ROH-03/2c*

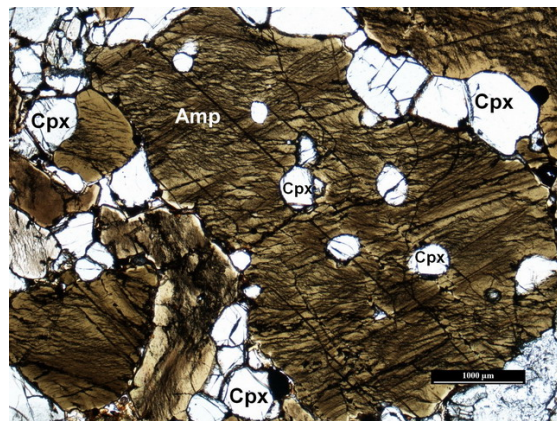


5. ábra. Kumulát szövet (1N)  
*TRS8*

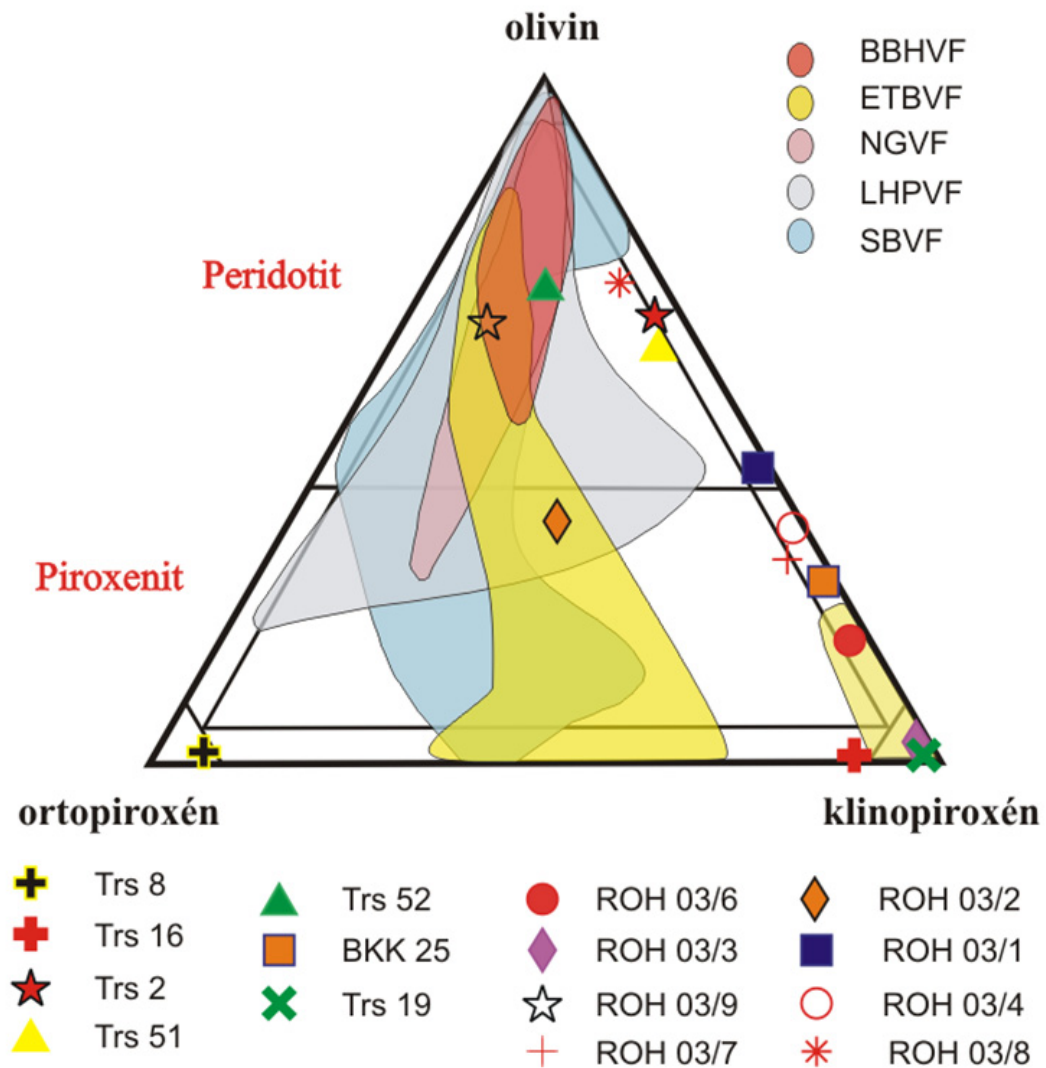
Több mintánál megfigyelhető a bekebelezés, kiszorítás, körbenövés jelensége, például a klinopiroxén szemcsékben kis, kör alakú olivin szemcsék vannak, ezt poikilites szövetnek nevezzük (ROH-03/1, ROH-03/4, ROH-03/6) (6. ábra), vagy amfibol kristályokban vannak lekerekített klinopiroxén szemcsék (ROH-03/3, TRS16, TRS19) (7. ábra). Az előbbi az amfibolszegény, az utóbbi az amfibolgazdag mintákban figyelhető meg, továbbá csak a magas klinopiroxén tartalmú kőzetek szövete poikilites.



6. ábra. Poikilites szövet olivin és klinopiroxén tartalmú kőzetben. (1N)  
**Ol:** olivin, **Cpx:** klinopiroxén  
*ROH-03/1a*



7. ábra. Poikilites szövet klinopiroxén és amfibol tartalmú kőzetben. (1N)  
**Cpx:** klinopiroxén, **Amp:** amfibol  
*ROH-03/3a*



8. ábra. Ultrabázisos kőzetek osztályozása modális összetételük alapján Steckeisen (1976) alapján.

Sok esetben látható a felhozó bazalt hatása a xenoliton, az ásványok szélei megolvadtak, újrakristályosodtak, repedések mentén olvadék szüremkedett be (9. ábra).

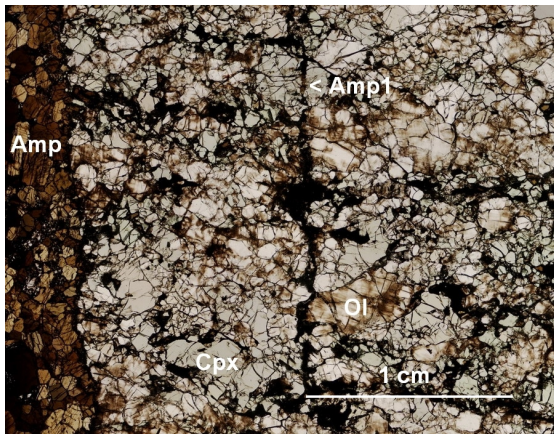
Az amfibol szöveteileg háromféleképpen jelenik meg:

- szemcseközi térben (minden mintában előfordul) (10. ábra)
- ér mentén (TRS51., TRS52., ROH-03/9a, TRS2) (11. ábra)
- a piroxének szételegyedési lamellái mentén (TRS51, ROH-03/1, ROH-03/2, ROH-03/8, ROH-03/9a, TRS16) (12. ábra)

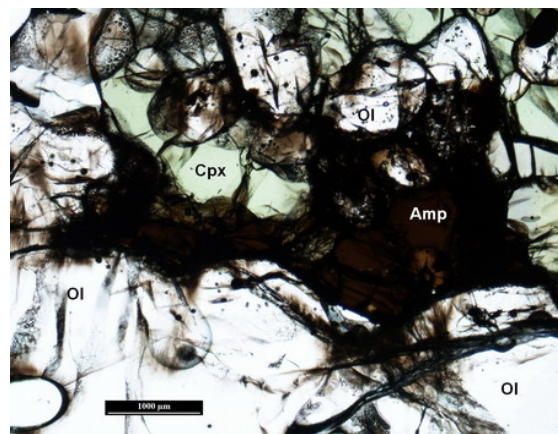


## 1. Szemcseközi térben:

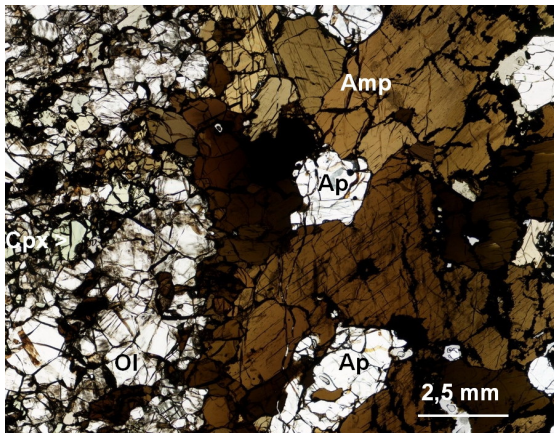
Az intersticiálisan megjelenő amfibolszemcsék jellemzője, hogy szinte minden amfibol kristály mellett spinell is található. Néhány mintában (ROH-03/2, TRS16) a klinopiroxén szétesik apró szemcsékre és úgy alakul át amfibollá (13. ábra). A TRS19 mintában amfibolos összetételű olvadék található a szemcsék között (14. ábra). A ROH-03/3, TRS16 és TRS19 mintákban az amfibol modális mennyisége nagyobb mint a klinopiroxéné, továbbá az amfibol kristályok átlagos mérete meghaladja a klinopiroxénét (15. ábra). Több minta esetében (TRS51, ROH-03/2, ROH-03/9a) olvadék-beszivárgáshoz köthető néhány intersticiális amfibol megjelenése (10. ábra).



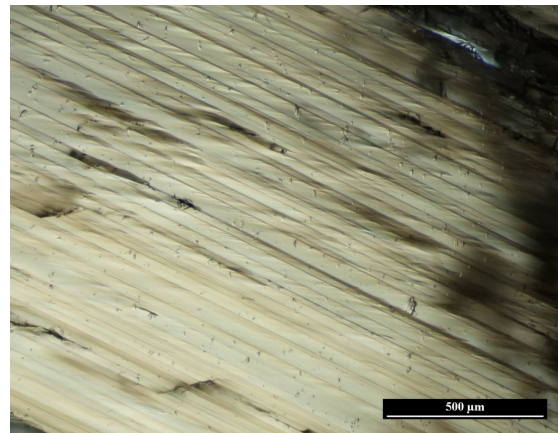
9. ábra. Repedésmenti olvadék beszüremkedés.  
(1N) **Amp**: amfibol, **Amp1**: olvadék hatására képződött amfibol, **Ol**: olivin, **Cpx**: klinopiroxén  
*TRS51*



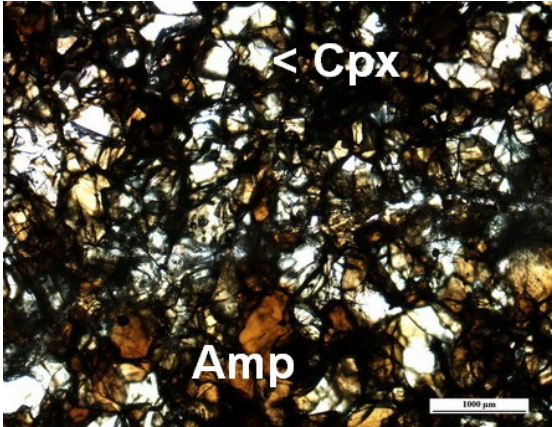
10. ábra. Intersticiálisan megjelenő amfibol. (1N)  
**Amp**: amfibol, **Ol**: olivin, **Cpx**: klinopiroxén  
*ROH-03/1a*



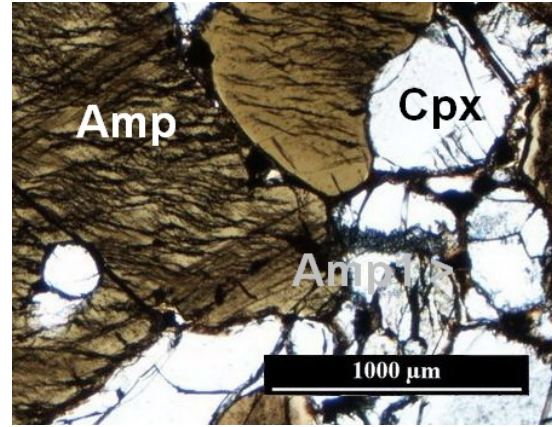
11. ábra. Amfibol ér. (1N) **Amp**: amfibol, **Ol**: olivin, **Cpx**: klinopiroxén, **Ap**: apatit  
*TRS2*



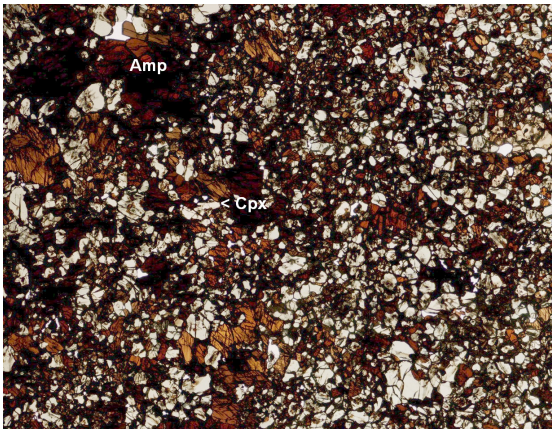
12. ábra. Szételegyedési lamella ortopiroxénben(1N)  
*ROH-03/2*



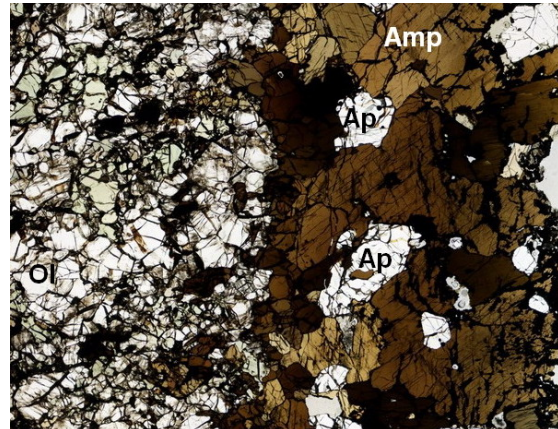
13. ábra. Amfibolosodó klinopiroxén neoblaszt (1N)  
**Amp:** amfibol, **Cpx:** klinopiroxén  
 ROH-03/2



14. ábra. Amfibolos összetételű olvadék **Amp:** amfibol, **Cpx:** klinopiroxén,  
**Amp1:** amfibolos összetételű olvadék  
 TRS19



15. ábra. Nagy amfibol tartalmú klinopiroxenit (1N). **Amp:** amfibol, **Cpx:** klinopiroxén  
 TRS 19

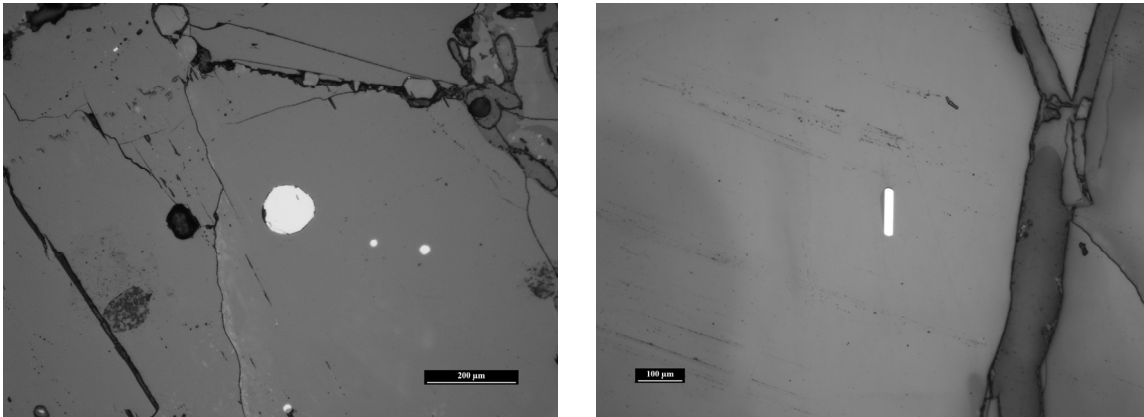


16. ábra. Apatit kristályok az amfibol érben (1N). **Amp:** amfibol, **Ol:** olivin, **Ap:** apatit  
 TRS 2

## 2. Ér mentén:

Az amfibolér három mintában (TRS51., ROH-03/9a, TRS2) a felhozó bazalt és a köpenykőzet között található, mindhárom mintában az amfiboléren kisebb nagyobb mértékben látszik a bazalt hatása, az ásványok megolvadtak, majd egy részük újrakristályosodott. A TRS 52. mintánál nem lehet biztosan megállapítani hogy az ér hol helyezkedik el, mert a csiszolat szélén van, és a bazalt hatása sem látszik rajta. A TRS 51 és ROH-03/9a mintákban köpenykőzet és az amfibolér között is látható olvadásnyom, újrakristályosodott szemcsék. A 2., és a TRS2 mintákban nem látszik ehhez hasonló jelenség. Az ér amfibol és spinell mellett apatitot (16. ábra) is tartalmaz (ROH-03/9a ,

TRS2). Továbbá az érmenti amfibolokra jellemző a nagy szulfidzárvány tartalom, amelyek változatos formában jelennek meg: gömb, tű, lemez. (17. ábra)



17.ábra. Különböző alakú szulfidzárványok az amfibol kristályokban. Ráeső fényes felvétel.

### 3. Szételegyedési lamellák mentén

Legtöbbször a klinopiroxén szételegyedési lamellái mentén jelenik meg amfibol, de néhány esetben az ortopiroxénre is jellemző (12. ábra).

#### **TRS 51. minta**

Szövege porfiroklasztos, összetétele alapján spinell lherzolit; olivin, ortopiroxén, klinopiroxén, amfibol, spinell kristályok találhatóak meg benne. Átlagosan 0,5-2 mm-esek a kristályok, maximálisan 4 mm-esek. A piroxénekből amfibol szételegyedési lamellák vannak, kioltásuk onduláló. A zárványt egy repedés szeli át, néhány helyen a klinopiroxének amfibolosodnak az olvadék hatására (9. ábra). A nagy olivinkristályok tömegesen jelennek meg, ahol meg kisebb kristályok vannak, ott megjelenik a klinopiroxén. Az amfibol egy ér mentén jelenik meg a kőzetben, de intersticiálisan is előfordul kisebb mennyiségben, legtöbb esetben spinellel együtt. Az érben lévő amfibolokban sok szulfidzárvány található, néhány körül sugaras repedések vannak, ezek közül néhány szulfidzárvány szételegyedett.



18. ábra. TRS 51 minta

Ahol az amfibol ér a többi ásvánnyal találkozik, olvadásnyomok figyelhetők meg, és kis újrakristályosodott amfibolok. Az éren belül elszórtan megjelenik az olivin is, ott az amfibolon jobban látszanak az olvadás nyomai. Az intersticiálisan elhelyezkedő amfibolok irányítottak. Sok ásványban megtalálhatóak a másodlagos, sík szerint rendeződött fluidzárványok

### **TRS 52. minta**

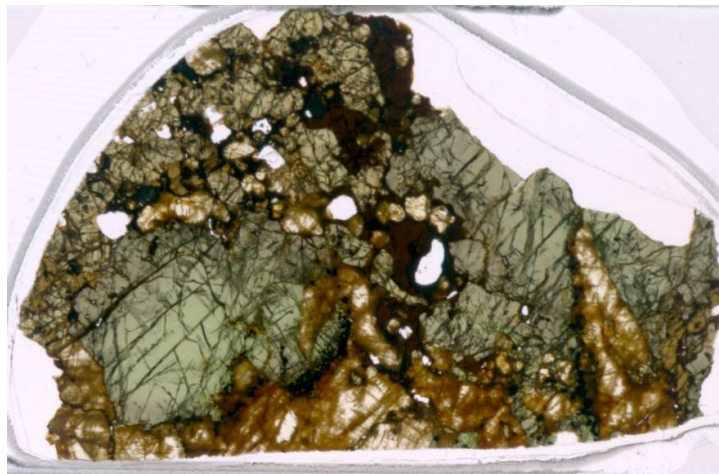
Szöveve porfiroklasztos, összetétele alapján spinell lherzolit, olivin, ortopiroxén, klinopiroxén, amfibol, és spinell alkotják. Átlagosan 0,5-1 mm-esek a kristályok, de van benne néhány 4-5 mm-es ortopiroxén kristály, klinopiroxén szételegyedési lamellákkal. Az amfibol szemcsék ~0,25 mm-esek. A klinopiroxénbenben szulfidzárványok vannak, amelyek szételegyedése itt is megfigyelhető, és kisebb csoportokban jelennek meg. Az amfibolok nagy része ebben a mintában is egy érben jelenik meg, a szemcsék mérete közel azonos, kialakulófélben van a hármas egyensúlyi szemcsehatár (triple junction). A szemcseközi térben is van amfibol, legtöbbször spinellel együtt, általában klinopiroxén mellett. A csiszolaton több helyen is látható hogy átalakul amfibollá a klino- és ortopiroxén.



19. ábra. TRS 52 minta

### **BKK 25**

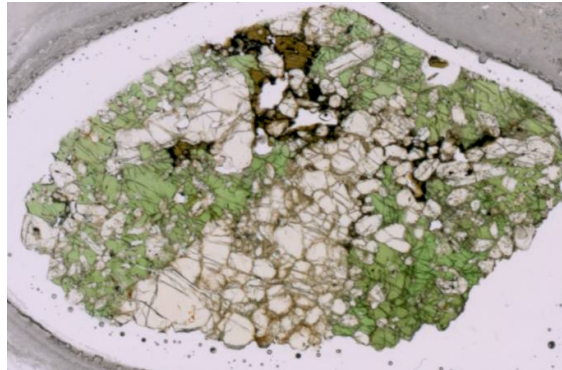
Porfiroklasztos szövetű, összetétele alapján olivin klinopiroxenit, olivin, klinopiroxén, amfibol és spinell alkotják. Nagy, 1-1,5 cm-es klinopiroxén kristályokat találhatunk a csiszolatban, és jól láthatóan mállott olivint. Az olivin szemcsék 8-10 mm-esek, az amfibol kristályok 3-5 mm-esek. Ahol a klinopiroxén és az olivin találkozik, olvadás és újrakristályosodás figyelhető meg, és sok spinell jelenik megzárványként az olivinek és a klinopiroxének találkozásánál, a kristályok szélein. A klinopiroxénbenben több szulfid és másodlagos fluidzárvány-sorozat van, a fluidzárványok sík mentén rendeződnek. Intersticiálisan van néhány amfibol kristály is, a színük nagyon eltérő, ezt az összetételbeli különbségnek köszönhetjük, emiatt a genézisük is különböző lehet.



20. ábra. BKK 25 minta

### ROH-03/1a, b

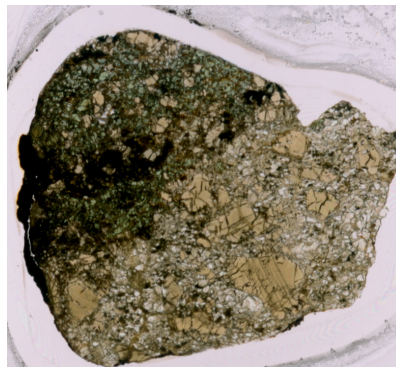
Porfiroklasztos wehrlit, olivin, klinopiroxén, amfibol és spinell alkotják. A különböző kristályok csoportokba tömörülnek. Az olivinek nagy része egy nagy csoportban található, a többi a klinopiroxének között; ezek a kristályok lekerekítettek, kisebbek mint a többi ol kristály, és tele vannak spinell zárvánnyal, a kisebb kristályok teljesen, a nagyobbaknak csak a széle. Számos, klinopiroxén által bekebelezett, kisebb, kör alakú olivin kristály van. Az amfibol kisebb foltokban, intersticiálisan jelenik meg, spinellel együtt. A klinopiroxénben van néhány szételegyedett szulfidzárvány, és szivacsos a széle a kristályoknak. A kristályok mérete átlagosan 0,5-1,5 mm, de van pár 4-5 mm-es olivin.



21. ábra. ROH-03/1 minta

### ROH-03/2a, b, c

Porfiroklasztos szövetű olivin websterit. Olivin, ortopiroxén, klinopiroxén, amfibol, spinell és flogopit van benne. Átlagosan 0,2-2 mm-esek a kristályok, de az ortopiroxének az 5-6 mm-es méretet is elérik. A klinopiroxén, ortopiroxén szételegyedési lamellák mentén amfibollá alakul.



22. ábra. ROH-03/2 minta

Az olivin kristályok a legépebbek, az ortopiroxénekek már kevésbé, a klinopiroxének alszemcsékre vannak töredezve, közöttük intersticiálisan amfibol jelenik meg. Ahol a legsűrűbb az amfibol, egy csoport flogopit is van, spinellel és amfibollal körülvéve. Az ásványok nagyobb csoportokban jelennek meg. A xenolit szélén, a bazalttal való érintkezésnél olvadásnyomok vannak.

### **ROH-03/3a, b**

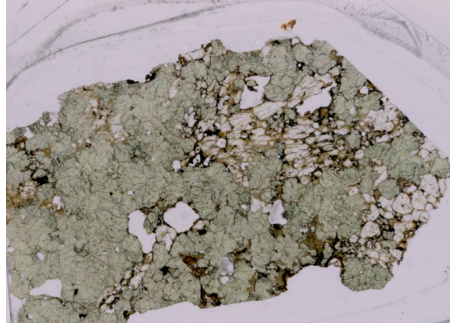
Kumulát szövetű klinopiroxenit. Olivin, klinopiroxén, ortopiroxén, amfibol van benne. A kristályok mérete 0,2-2 mm között változik. A hármas egyensúlyi pontok kezdett kialakulni. A nagyobb amfibol kristályokban kisebb, kör alakú klinopiroxén kristályokat láthatunk. Az amfibolban szulfidzárványok vannak. A klinopiroxénekekben szételegyedési lamellák jelennek meg.



23. ábra. ROH-03/3 minta

### **ROH-03/4a, b**

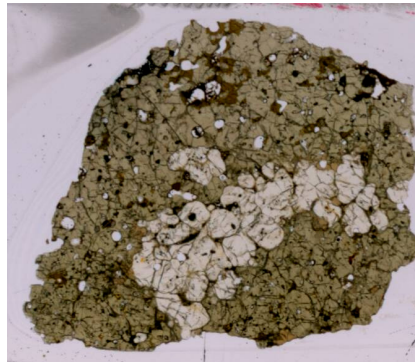
Porfiroklastos szövetű, összetétele alapján olivin klinopiroxenit. Olivin, klinopiroxén, amfibol és spinell van benne, a kristályok mérete 0,5 és 3 mm között változik. Az olivin csoportokban jelenik meg, a széle olvadozott, újrakristályosodott, néhány szulfid és spinell zárvány is van benne. Az amfibol a szemcséközi térben van, majdnem minden esetben az olivin és klinopiroxén találkozásánál, spinellel együtt található. Néhány amfibol széle olvadt, majd újrakristályosodott. Az olivin kristályok széle lekerekített. Az olivin-klinopiroxén határoknál olvadásnyomok vannak. A kristályok átlagosan 2-3 mm-esek.



24. ábra. ROH-03/4 minta

### **ROH-03/6a, b**

Porfiroklasztos szövetű olivin klinopiroxenit. Összetétele: olivin, klinopiroxén, ortopiroxén, amfibol. A szemcseméret 1-3 mm. Az olivinek kisebb nagyobb csoportokban jelennek meg, szulfidzárványok vannak bennük, a szélük lekerekített. A klinopiroxéneknél sok fluidzárvány van sík szerinti elrendeződéssel, a szemcséi között amfibol alakul ki, a klinopiroxén szemcsék széle szivacsos. Az amfibolban sok szulfidzárvány van. A kristályok általában 2-3 mm-esek.



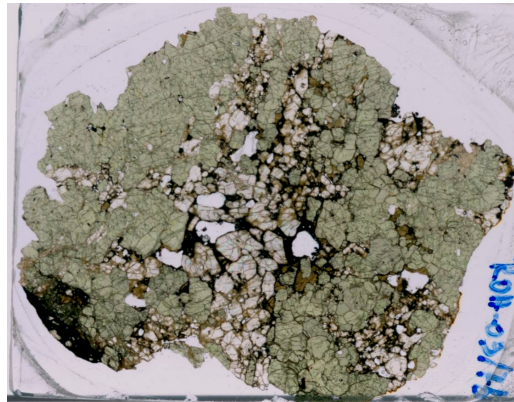
25. ábra. ROH-03/6 minta

### **ROH-03/7a, b**

Olivin klinopiroxenit, porfiroklasztos szövetű, olivin, klinopiroxén, amfibol és spinell van benne. Az olvadék beszivárgott a xenolit közepére is, a repedések mentén elterjedt, megolvasztotta a kristályok egy részét, ezek újrakristályosodtak. Az olivinek csoportokban jelennek meg, a szemcsék széle legtöbbször íves, van bennük néhány kis szulfidzárvány. A klinopiroxéneknél is van pár szulfidzárvány, a bazalttal való találkozásnál olvadásnyomokat láthatunk. Az amfibol intersticiálisan jelenik meg, majdnem minden



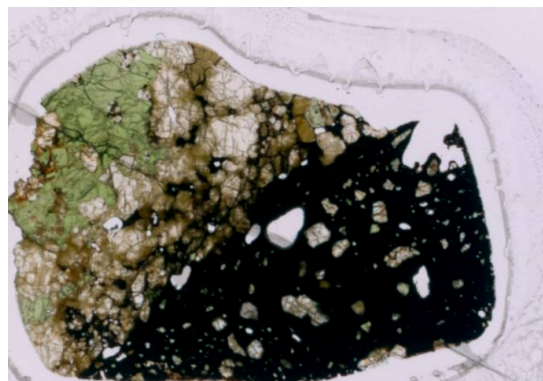
esetben az olivin és a klinopiroxén találkozásánál. Átlagosan 0,5-3 mm-esek a kristályok, de van pár 4 mm-es is.



26. ábra. ROH-03/7 minta

### **ROH-03/8a, b**

Porfiroklasztos szövetű wehrlit, olivin, ortopiroxén, klinopiroxén, amfibol és spinell alkotják. 1-3 mm-esek a kristályok. A bazalttal való találkozásnál olvadásnymok vannak, újrakristályosodtak az ásványok. Az amfibol kristályok szélein is olvadás figyelhető meg. Az amfibol és spinell is itt jelenik meg a leggyakrabban. Néhány szulfid és spinell zárvány van a klinopiroxénben. A klinopiroxén szételegyedési lamellák mentén amfibolosodik. Néhány ortopiroxén kristály található a csiszolatban, az olivint kebelezi be.



27. ábra. ROH-03/8 minta

### **ROH-03/9a**

Porfiroklasztos, az összetétele alapján spinell lherzolit. Olivin, ortopiroxén, klinopiroxén, amfibol, spinell, apatit ásványok vannak benne. A különböző kristályok csoportokba rendeződnek. Az olivin-bazalt találkozásnál olvadásnymok vannak, a

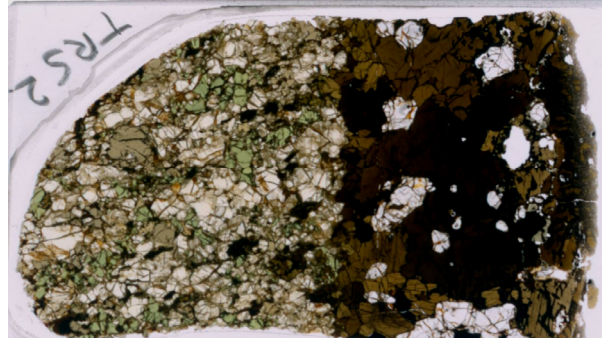
xenolit repedésein beszivárgott az olvadék, az ilyen repedések mentén elkezdett amfibolosodni. Az amfibolok kisebb része intersticiálisan, a többsége egy ér mentén jelenik meg, benne elszórtan apatit kristályok vannak; 2-5 mm-es, szulfidzárvánnyal és tükkel tele amfibol kristályok vannak az érben, a bazalt irányában fokozatosan olvadt, szivacsos a kristályok széle. A szivacsos szegély a bazalt közeli piroxéneken is megfigyelhető. Az ortopiroxének klinopiroxénné, a klinopiroxének amfibollá alakulnak a szételegyedési lamellák mentén. 0,5-1 mm-esek a kristályok, kivéve néhány 2-3 mm-es ortopiroxént. Az érmenti amfibol szemcsék mérete 0,5-4 mm között változik.



28. ábra. ROH-03/9 minta

## TRS 2

Szöveve porfiroklastos, összetétele alapján spinell lherzolit, olivin, ortopiroxén, klinopiroxén, spinell, apatit és amfibol van benne. Átlagosan 1-3 mm-esek a kristályok, az amfibolok 5-7 mm-esek; néhány klinopiroxén kristályon szételegyedési lamellák vannak, alakul át amfibollá. A legtöbb amfibol egy érben jelenik, a többi a szemcséközi térben, vagy szételegyedési lamellákban. Az ér bazalt felőli széle erőteljesen olvadt. Az amfibolokban sok fluid-, szulfidzárvány és tű van. Az érben található pár apatit kristályt is, amiben elsődleges szulfidzárványok vannak. Az amfibolban van néhány apatit zárvány. Az amfibol több helyen intersticiálisan is megjelenik, legtöbbször spinell mellett.



29. ábra. TRS 2 minta

### TRS 8

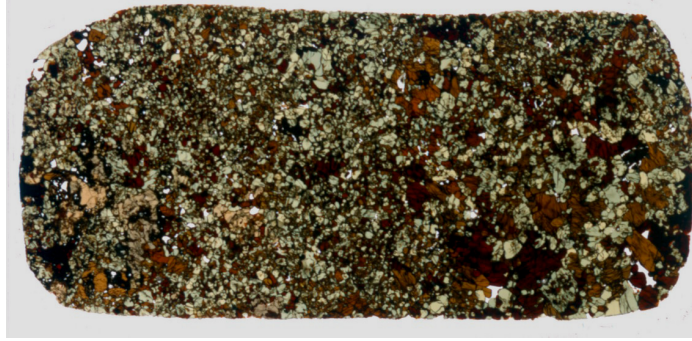
A szövete kumulát, modális összetétele alapján ortopiroxenit. Ortopiroxén, klinopiroxén, spinell és amfibol alkotja. A szemcsék mérete átlagosan 0,5-3 mm. Az ortopiroxénben szételegyedett szulfidzárványok vannak. Az amfibol a szemcseközi térben jelenik meg, kisebb gócpontokban, általában klinopiroxén mellett de nem mindig, legtöbbször spinell is van mellette.



30. ábra. TRS 8 minta

### TRS 16

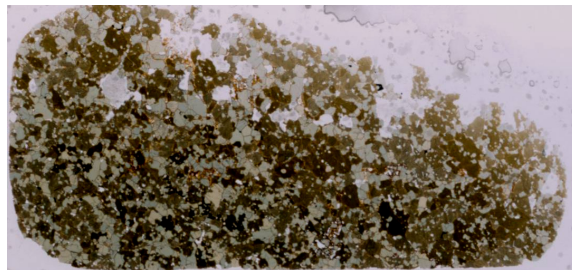
Kumulát szövetű, klinopiroxenit. Klinopiroxén, ortopiroxén, amfibol az alkotóásványai. A klinopiroxén és amfibol kristályok mérete 0,2 és 3 mm között változik. A klinopiroxén kristályokban sok szételegyedett szulfidzárvány van. A klinopiroxén jól láthatóan amfibollá alakul, majdnem minden kristályban láthatóak az amfibol neoblasztok, a szételegyedési lamellák mentén is amfibol jelenik meg. Több helyen a klinopiroxén alszemcsékre esett szét, az alszemcsék között amfibol van. Spinell zárványok vannak az amfibol és a klinopiroxén kristályokban.



31. ábra. TRS 16 minta

### **TRS 19**

Kumulát szövetű klinopiroxenit, klinopiroxén, amfibol és spinell ásványok alkotják. A kristályok mérete átlagosan 0,5-3 mm. Az amfibol kristályok bekebelezik, körbenövik a klinopiroxéneket, sok nagyobb amfibol kristályban van kis kör alakú klinopiroxén. Intersticiálisan sok helyen olvadásnyomok vannak, az amfibolban, és az amfibol körüli olvadékban sok kis spinell kristály jelenik meg. A klinopiroxén szemcsékben szulfidzárványok vannak, a legtöbb szemcse szegélye szivacsos.



32. ábra. TRS 19 minta

## 5. Ásványkémia:

Petrográfiai vizsgálataim alapján kémiai elemzésre kiválasztottam a ROH-03/1, ROH-03/7, ROH-03/9, ROH-03/6, ROH-03/2, mintákat.

### Olivin:

	<b>ROH-03/1</b>	<b>ROH-03/1</b>	<b>ROH-03/6</b>	<b>ROH-03/6</b>	<b>ROH-03/7</b>	<b>ROH-03/7</b>	<b>ROH-03/9</b>	<b>ROH-03/9</b>
	rim	core	rim	core	rim	core	rim	core
<b>SiO<sub>2</sub></b>	40,10	40,08	39,86	39,80	40,02	39,89	39,99	40,06
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,03	0,03	0,07	0,03	0,05	0,02	0,02	0,01
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00
<b>FeO</b>	13,32	13,32	14,77	15,10	14,04	14,32	13,58	13,69
<b>MnO</b>	0,21	0,20	0,22	0,21	0,22	0,22	0,20	0,25
<b>MgO</b>	47,22	47,29	45,21	45,12	46,43	46,43	47,23	47,10
<b>NiO</b>	0,29	0,29	0,18	0,19	0,26	0,23	0,35	0,34
<b>CaO</b>	0,11	0,09	0,11	0,08	0,12	0,12	0,07	0,08
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,20	0,01	0,01
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>TOTAL</b>	101,35	101,36	100,44	100,58	101,19	101,28	101,47	101,55
<b>Mg#</b>	0,86	0,86	0,85	0,84	0,86	0,85	0,86	0,86
<b>Fo</b>	86,15	86,17	84,31	84,00	85,30	85,06	85,94	85,76

33. ábra. A vizsgált olivinek reprezentatív kémiai összetétele

A minták forsterit tartalma 84-86,17%. Ezek az értékek a piroxenitkre jellemzőek, bár az ROH-03/9-es minta spinell lherzolit, melyekre a magasabb forsterit tartalom jellemző (Szász Lehel TDK dolgozata).

A szegélyek és a magok közötti eltérés kis mértékű.

Ortopiroxén:

	<b>ROH- 03/1</b>	<b>ROH- 03/1</b>	<b>ROH- 03/9</b>	<b>ROH- 03/6</b>	<b>ROH- 03/6</b>	<b>ROH- 03/2</b>
	rim	core	core	rim	core	core
<b>SiO2</b>	53,71	53,77	53,03	53,22	53,25	54,23
<b>TiO2</b>	0,16	0,17	0,15	0,18	0,16	0,14
<b>Al2O3</b>	4,56	4,47	5,11	4,71	4,71	5,48
<b>Cr2O3</b>	0,24	0,23	0,46	0,06	0,06	0,25
<b>FeO</b>	8,58	8,59	8,17	9,50	9,44	8,20
<b>MnO</b>	0,19	0,19	0,20	0,21	0,25	0,16
<b>MgO</b>	31,63	31,72	29,07	30,25	30,31	32,33
<b>CaO</b>	1,06	1,03	4,26	0,98	1,02	0,68
<b>Na2O</b>	0,08	0,10	0,15	0,09	0,10	0,09
<b>K2O</b>	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
<b>NiO</b>	0,08	0,09	0,10	0,05	0,08	0,11
<b>TOTAL</b>	100,30	100,37	100,81	99,26	99,39	101,69
<b>Mg#</b>	0,87	0,87	0,86	0,85	0,85	0,88
<b>Cr#</b>	0,03	0,02	0,05	0,01	0,01	0,03
<b>Wo</b>	2,03	1,99	8,31	1,94	2,00	1,30
<b>En</b>	84,84	84,91	79,01	83,15	83,15	86,25
<b>Fs</b>	13,12	13,10	12,68	14,91	14,85	12,45

34. ábra. A vizsgált ortopiroxének reprezentatív kémiai összetétele

Az enzstatit tartalom 79,01-86,25% (36. ábra), a Mg számuk 0,85-0,88 között változik, ami bár egy kicsit kisebb, de hasonlít a Vaselli et al. (1995) által leírtakra (0,86-0,92). A Cr szám 0,01-0,05 között változik, amelyek szintén alacsonyabb értékek, mint a Vaselli et al. (1995) munkájában leírtak. Az ROH-03/9-es minta ortopiroxénjeinek CaO tartalma igen magas (4,26).

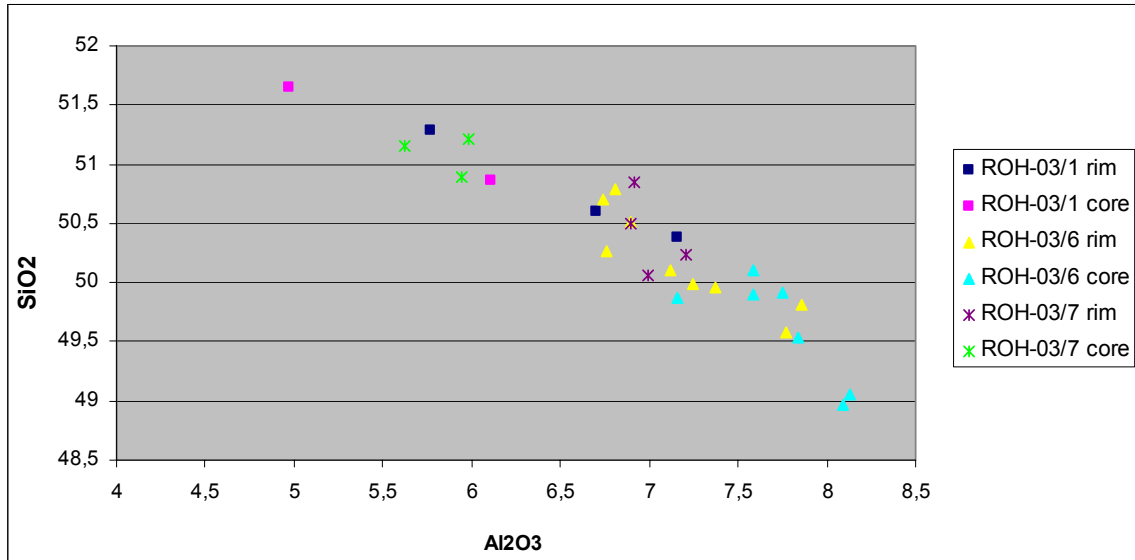
Nincs említésre méltóan nagy különbség a szegélyek és a magok összetétele között.

Klinopiroxén:

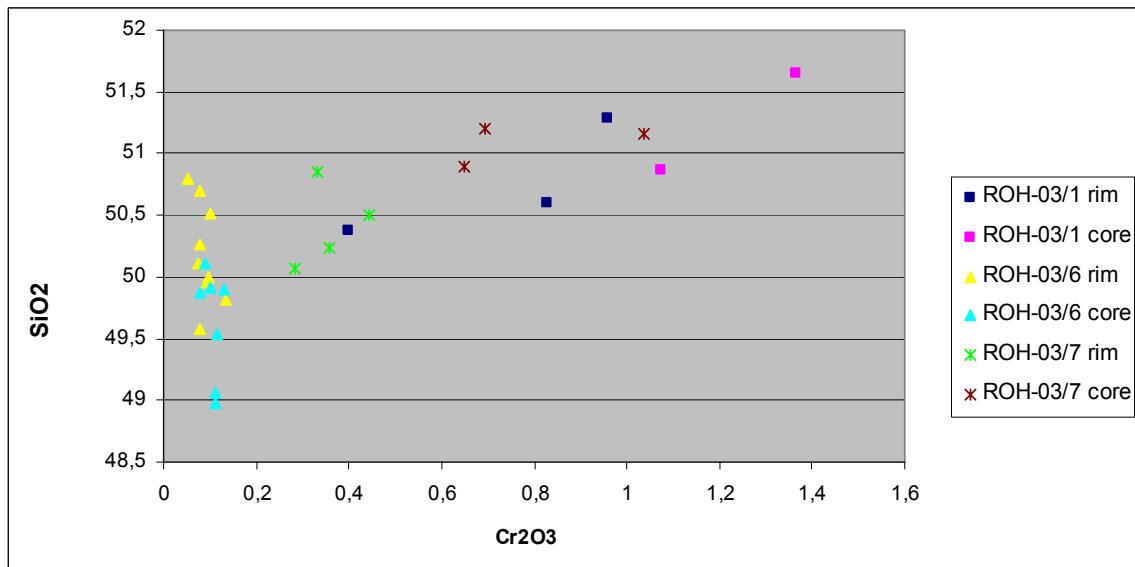
	<b>ROH- 03/1</b>	<b>ROH- 03/1</b>	<b>ROH- 03/6</b>	<b>ROH- 03/6</b>	<b>ROH- 03/7</b>	<b>ROH- 03/7</b>	<b>ROH- 03/9</b>
	rim	core	rim	core	rim	core	core
<b>SiO<sub>2</sub></b>	50,75	51,25	50,19	49,62	50,41	51,09	51,27
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,54	0,47	0,79	1,03	0,79	0,52	0,28
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	6,54	5,54	7,17	7,74	7,00	5,85	5,31
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,73	1,22	0,09	0,11	0,35	0,79	0,55
<b>FeO</b>	4,66	4,54	5,74	5,71	4,82	4,49	4,32
<b>MnO</b>	0,15	0,13	0,16	0,15	0,14	0,13	0,14
<b>MgO</b>	16,11	16,32	15,55	15,31	15,72	16,83	16,14
<b>CaO</b>	20,30	20,13	19,93	19,64	19,87	19,67	21,32
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	1,22	1,18	1,26	1,30	1,27	1,01	0,99
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00
<b>NiO</b>	0,05	0,05	0,02	0,02	0,06	0,03	0,05
<b>TOTAL</b>	101,05	100,85	100,91	100,63	100,43	100,42	100,37
<b>Mg#</b>	0,86	0,87	0,83	0,83	0,85	0,87	0,87
<b>Cr#</b>	0,13	0,20	0,01	0,02	0,07	0,14	0,11

35. ábra. A vizsgált olivinek reprezentatív kémiai összetétele

A minták mind diopszidok (38. ábra). A Mg számuk 0,83-0,87 közöttiek, ami valamivel alacsonyabbak Vaselli et al. (1995) adatainál, ezzel szemben a Cr számuk (0,01-0,2) nagyobb intervallumban változik, mint Vasellinél (0,06-0,16). A szegély és a mag közti összetétel különbség leginkább az Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> és a FeO tartalom változásában nyilvánul meg, de különbség van a SiO<sub>2</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO és NaO tartalom között is. A maghoz képest a szegélyben a TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO és CaO dúsul, a Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> koncentrációja csökken. Mivel a SiO<sub>2</sub> tartalom lényegesen nem változik, készítettem két diagrammot, melyek Y tengelyén a SiO<sub>2</sub>, az X tengelyén az egyik diagrammon az Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> szerepel (36. ábra), a másikon a Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (37. ábra). Azért ezt a két oxidot választottam, mert a koncentrációjuk szegélyben és a magban nagyon eltérő. Az Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> koncentrációja a szegélyben magasabb, a Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-é a magban.

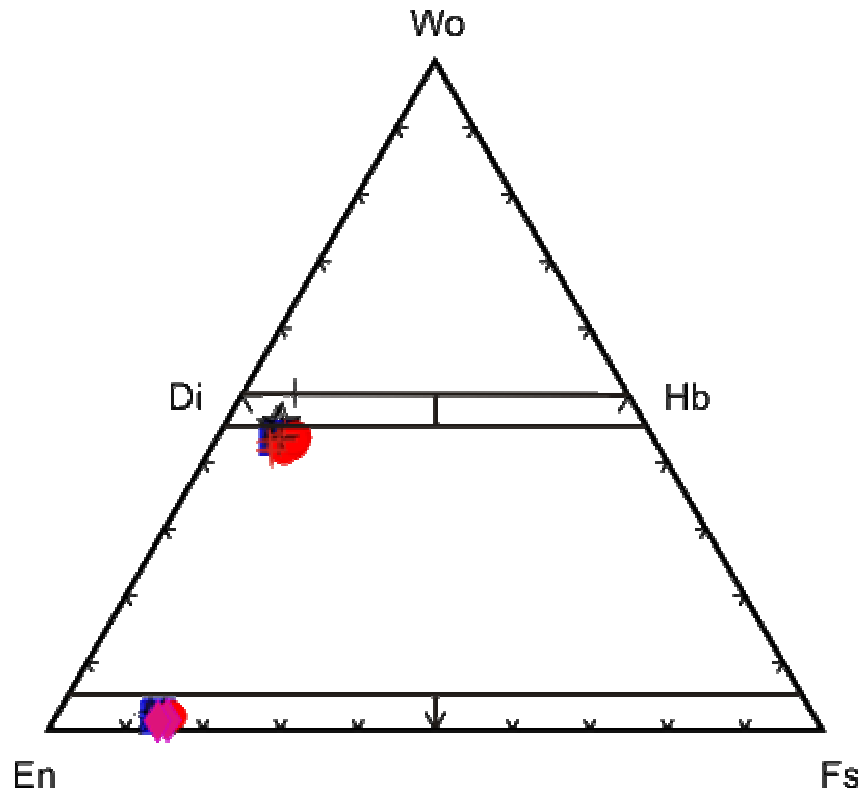


36. ábra SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> változása a klinopiroxének szegélyében és magjában



37. ábra SiO<sub>2</sub>-Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> változása a klinopiroxének szegélyében és magjában





38. ábra. A vizsgált piroxének osztályozása Morimoto (1989) alapján

Wo: wollastonit, Di: diopszid, Hb: hedenbergit, En: ensztatit, Fs: ferroszilit

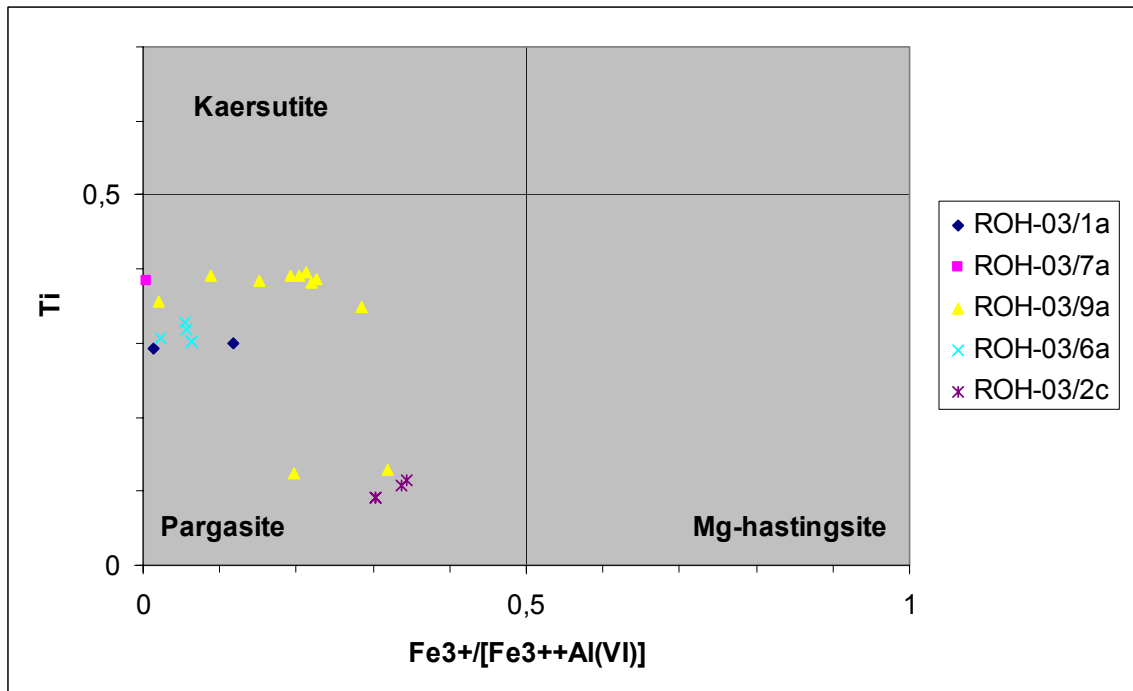
Amfibol:

	ROH-03/1	ROH-03/1	ROH-03/2	ROH-03/6	ROH-03/6	ROH-03/7	ROH-03/7	ROH-03/9	ROH-03/9
	rim	core	core	rim	core	rim	core	rim	core
<b>SiO2</b>	41,47	41,58	42,82	41,43	41,51	41,19	41,04	39,95	39,71
<b>TiO2</b>	2,76	2,72	0,94	2,91	2,94	3,29	3,68	3,55	3,54
<b>Al2O3</b>	15,42	15,59	16,53	15,32	15,22	15,41	15,50	15,71	15,71
<b>Cr2O3</b>	0,58	0,48	0,43	0,11	0,12	0,47	0,35	0,01	0,00
<b>FeO</b>	6,20	6,18	5,65	7,30	7,29	6,33	6,63	10,35	11,20
<b>MnO</b>	0,08	0,10	0,10	0,09	0,08	0,07	0,11	0,13	0,16
<b>MgO</b>	16,44	16,47	17,21	16,00	16,02	16,15	16,02	13,54	12,89
<b>CaO</b>	11,29	11,21	10,84	11,02	11,01	11,07	11,16	11,09	11,05
<b>Na2O</b>	2,95	2,99	4,09	3,13	3,07	3,16	3,13	3,29	3,30
<b>K2O</b>	1,74	1,63	0,93	1,57	1,57	1,47	1,49	1,34	1,45
<b>NiO</b>	0,07	0,10	0,11	0,06	0,05	0,08	0,14	0,03	0,08
<b>TOTAL</b>	99,01	99,06	99,77	98,94	98,86	98,70	99,26	99,11	99,09
<b>Mg#</b>	0,83	0,83	0,92	0,81	0,80	0,82	0,81	0,71	0,69
<b>Cr#</b>	0,11	0,09	0,06	0,03	0,02	0,10	0,08	0,01	0,00

39. ábra. A vizsgált amfibolok reprezentatív kémiai összetétele

Az amfibolok kivétel nélkül pargazitos összetételűek (38. ábra). Az intersticiális amfibolok Mg száma 0,8-0,92 közötti, az érben lévő amfibolok 0,69-0,71 közötti, hasonlóan Vaselli et al. (1995) adataihoz: 0,85-0,89 (intersticiális amfibolok), 0,72-0,74 (amfibol erek). A Cr számok is különböznek, a szemcseközi amfiboloknak 0,06-0,11 (kivéve az ROH-03/6 mintát, amiben 0,02-0,03), az amfibol érre  $\leq 0,01$ , ez is hasonló Vaselli et al. (1995) adataihoz (intersticiális: 0,04-0,06; érben elhelyezkedő:  $\leq 0,01$ ).

A kristályok szegélye és közepe között csak kis összetételbeli eltérések vannak.



40. ábra. Az amfibolok Ti és  $Fe^{3+}/[Fe^{3++Al(VI)}]$  tartalma szerint csoportosítva, Leake (1978) alapján.

## 6. Összefoglaló:

A petrográfiai és geokémiai elsődleges megfigyelések alapján az amfibol, a flogopit és az olvadékok megjelenése, mindenképpen egy vagy több fázisú metasomatózisra utal, továbbá a szegélyek (rim) és a magok (core) közötti kémiai különbségek vagy egy korábbi kimerülés következményeit mutatják, vagy a bazalt hatását.

A spinel a fő Al hordozó fázis a kőzetekben, ami arra utal, hogy a spinell stabilitási tartományában vagyunk, ami 11-13 kbar a piroxenitek esetében és 11-16 kbar a lherzolitok esetében.

## 7. Bibliográfia

- Dövényi, P. és Horváth, F. (1988): A review of temperature, thermal conductivity, and heat flow data for the Pannonian Basin. *AAPG Memoir*, 45, 195-233.
- Downes, H., Seghedi, I., Szakács, A., Dobosi, G., James, D.E., Vaselli, O., Rigby, I. J., Ingram, G. A., Rex, D. & Pécskay, Z. (1995): Petrology and geochemistry of late Tertiary/ Quaternary mafic alkaline volcanism in Romania. *Lithos*, 35, 65-81.
- Embey-Isztin, A., Downes, H., James, D. E., Upton, B. G. J., Dobosi, G., Ingram, G. A., Harmon, R. S. & Scharbert, H. G. (1993): The petrogenesis of Pliocene alkaline volcanic rocks from the Pannonian Basin, Eastern Central Europe. *J. Petrol.*, 34, 317-343.
- Embey-Isztin, A. & Dobosi, G. (1997): A Kárpát-Pannon Térség neogén alkáli bazaltjainak nyomelem- és izotópkémiai viszonyai: következtetések a köpenybeli forrásközetek jellegére. *Földtani Közlöny*, 127, 321-351.
- Frey, F. A., és Prinz, M. (1978): Ultramafic inclusions from San Carlos, Arizona, petrologic and geochemical data bearing on their petrogenesis. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 38, 129-176.
- Harangi, A. (2004): A Kárpát-Pannon Térség vulkáni kőzeteinek kutatása – geokémiai megközelítés. *Magyar Kémiai Folyóirat - Összefoglaló közlemények* 109-110, 173
- Irving, A. J. (1980): Petrology and geochemistry of composite ultramafic xenoliths in alkalic basalts and implication for magmatic processes within the mantle. *American Journal of Science*, 240-A, 389-426.
- Leake, B.E., 1978. Nomenclature of amphiboles. *Am. Mineral.* 63, 1023– 1052.
- Mercier, J. C. & Nicolas, A. (1975): Textures and fabrics of upper-mantle peridotites as illustrated by xenoliths from basalts. *J. Petrol.*, 16, 454-487.
- Morimoto, N. (1989): Nomenclature of pyroxenes. *The Canadian Mineralogist*, 27, 143-156.
- Panaiotu, G. C., Pécskay, Z., Hambach, U., Seghedi, I., Panaiotu, E. C., Tetsumaru, I., Orleanu, M. & Szakács, A. (2004): Short-lived Quaternary volcanism in the Persani mountains (Romania) revealed by combined K-Ar and paleomagnetic data. *Geologica Carpathica*, 55, 4, 333-339.
- Szabó, Cs., Falus, Gy., Zajac, Z., Kovács, I. & Bali, E. (2004): Composition and evolution of lithosphere beneath the Carpathian-Pannonian Region: a review. *Tectonophysics*. 393, 119-137.
- Vaselli, O., Downes, H., Thirlwall, M. F., Dobosi, G., Coradossi, N., Seghedi, I., Szakács, A. & Vanucci, R. (1995): Ultramafic xenoliths in Plio-pleistocene alkali basalts from the eastern Transsylvanian Basin: depleted mantle enriched by vein metasomatism. *J. Petrol.*, 36, 23-55.
- Wilshire, H. G. és Shervais, J. W. (1975): Al-augite and Cr-diopside ultramafic xenoliths in basaltic rocks from western United States. *Phys. Chem. Earth*, 9, 257-272.

## Ábrajegyzék

1. ábra. A Kárpát-Pannon régió vázlatos geológiai térképe	2
2. ábra. A Persány-hegységi plio-pleisztocén alkáli bazaltok elterjedése	3
3. ábra. A vizsgált zárványok modális összetétele	6
4. ábra. Porfiroklastos szövet	7
5. ábra. Kumulát szövet	7
6. ábra. Poikilites szövet olivin és klinopiroxén	7
7. ábra. Poikilites szövet klinopiroxén és amfibol	7
8. ábra. Ultrabázisos kőzetek osztályozása modális összetételük alapján	8
9. ábra. Repedésmenti olvadék beszüremkedés	9
10. ábra. Intersticiálisan megjelenő amfibol.	9
11. ábra. Amfibol ér	9
12. ábra. Szételegyedési lamella	9
13. ábra. Amfibolosodó klinopiroxén neoblaszt	10
14. ábra. Amfibolos összetételű olvadék	10
15. ábra. Nagy amfibol tartalmú klinopiroxenit	10
16. ábra. Apatit kristályok az amfibol érben	10
17. ábra. Különböző alakú szulfidzárványok az amfibol kristályokban	11
18. ábra. TRS 51 minta	12
19. ábra. TRS 52 minta	13
20. ábra. BKK 25 minta	13
21. ábra. ROH-03/1 minta	14
22. ábra. ROH-03/2 minta	14
23. ábra. ROH-03/3 minta	15
24. ábra. ROH-03/4 minta	16
25. ábra. ROH-03/6 minta	16
26. ábra. ROH-03/7 minta	17
27. ábra. ROH-03/8 minta	17
28. ábra. ROH-03/9 minta	18
29. ábra. TRS 2 minta	19
30. ábra. TRS 8 minta	19
31. ábra. TRS 16 minta	20
32. ábra. TRS 19 minta	20
33. ábra. A vizsgált olivinek reprezentatív kémiai összetétele	21
34. ábra. A vizsgált ortopiroxének reprezentatív kémiai összetétele	22
35. ábra. A vizsgált olivinek reprezentatív kémiai összetétel	23
36. ábra. $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ változása a klinopiroxének szegélyében és magjában	24
37. ábra. $\text{SiO}_2\text{-Cr}_2\text{O}_3$ változása a klinopiroxének szegélyében és magjában	24
38. ábra. A piroxének osztályozása Morimoto et al. (1989) alapján	25
39. ábra. A vizsgált amfibolok reprezentatív kémiai összetétele	25
40. ábra. Az amfibolok osztályozása Leake (1978) alapján	26

## Tartalomjegyzék

1. Bevezető	1
2. Földtani háttér	1
3. Alkalmazott analitikai módszerek rövid bemutatása	4
4. Petrográfia	6
5. Ásványkémia	21
6. Összefoglaló	27
7. Bibliográfia	28
Ábrajegyzék	29

## Köszönetnyilvánítás

Első sorban témavezetőmnek, Tóth Attilának szeretném megköszönni a témaajánlását, a rengeteg önzetlen segítségét, támogatását. Továbbá köszönettel tartozok Dr. Szabó Csabának, mert lehetővé tette hogy vizsgálataim nagy részét az Eötvös Lóránd Tudományegyetem Természettudományi Karának Közettan és Geokémia Tanszékén belül működő Litoszféra Fluidum Kutató Laborban végezhessem. Köszönöm a jó tanácsokat, a kellemes hangulatot az LRG lelkes tagjainak, Márton Ernőnek, Bendő Zsoltnak. Hálás vagyok Szász Zoltánnak a megértéséért, segítségéért.