

Szegedi Tudományegyetem
Természettudományi és Informatikai Kar
Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék



**Az asszonyfalvahavasi staurolit-gránát csillámpala
petrológiája**

OTDK DOLGOZAT

Készítette:

Radics Tamás

Földtudomány Msc szakos hallgató

Témavezető:

Dr. M. Tóth Tivadar

Tanszékvezető, egyetemi tanár

Szeged

2012

Tartalom

Absztrakt.....	2
1. Az Erdélyi – szigethegység (Munții Apuseni)	3
1.1 Az Észak Erdélyi-középhegység aljzatának tereínnumai.....	4
1.2 A Szamos tereínnum	5
1.3 A Szamos metamorf sorozat felépítése	5
1.4 A Szamos sorozat petrológiája és fejlődéstörténete az eddig megjelent irodalmak tükrében.....	6
1.5 A Szamos tereínnum geokronológiai viszonyai	6
2. Mintavételi hely	7
3. Módszerek.....	8
3.1 Ásványnevek rövidítései.....	8
3.2 Makroszkópos és mikroszkópos vizsgálat	8
3.3 Elektron mikroszondával végzett mérések.....	8
4. Petrográfiai eredmények	9
4.1 Makroszkópos eredmények	9
4.2 Mikroszkópos eredmények	9
5. Ásványkémiai eredmények.....	11
6. Termometria	16
6.1 Biotit mag meghatározás.....	17
6.2 Termometriai számítás (Ti in biotite)	18
6.3 Termometriai eredmények	18
7. Termobarometria	19
7.1 P – T modellezés.....	20
8. Konklúzió	21
Köszönetnyilvánítás	23
Irodalomjegyzék.....	24
Mellékletek.....	26

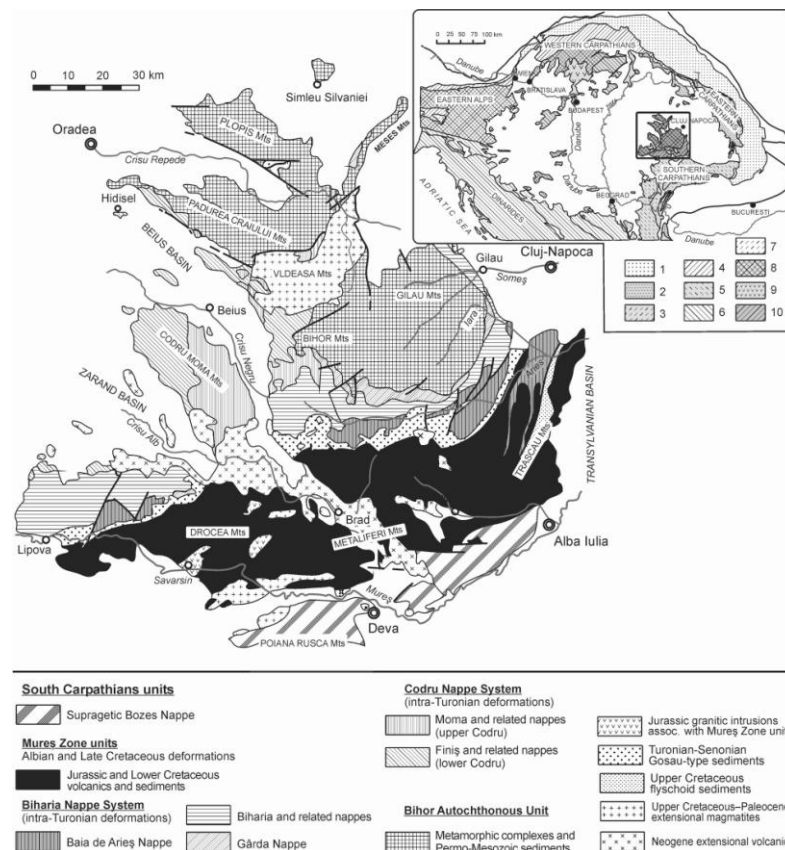
Absztrakt

Az Erdélyi-középhegység aljzatát prealpi magmás és metamorf sorozatok alkotják, amelyekre a Codru,-és a Biharia takarórendszer takarói torlódtak fel (Dallmeyer, et al., 1999). Ezt a paraautochton helyzetben lévő szerkezeti egységet a Szamos közetsorozat és a Muntele Mare granitoidok alkotják. A Szamos közetsorozat területéről származó közettani kutatások egyrésze földtani térképezésekkel kapcsolatosan kerültek napvilágra, amelyek mellőzték az alapos és speciális petrológiai leírást.

Jelen dolgozatomban az Asszonyfalvahavas településnél kibukkanó Szamos sorozat Staurolit-Gránát csillámpaláit vizsgáltam petrológiai megismerés céljából. A mintagyűjtést követően a makroszkópos és mikroszkópos megfigyelések rávilágítottak a minta polimetamorf jellegére. Jellegzetesen két, egymással szöget bezáró foliációs irány (S_2 - S_3) figyelhető meg, amelyeket muszkovit és biotit sávok jelölnek ki. Az S_1 irányt a gránát porfiroblasztokban található rutil és kvarc zárványsorok alkotják. A klivázsszerkezeten belül az eltérő foliációs irányokban poszt- és szinkinematikus staurolitok találhatóak, továbbá reliktszöveti bélyegeket tartalmazó gránátok. Akcesszórius elegyrészként megfigyelhető a cirkon, ilmenit, rutil, monacit és apatit. A karakterisztikus ásványszemcsék kémiai összetételét egy Oxford Instruments INCA Energy 300 energiadiszperzív spektrométerrel felszerelt JEOL Superprobe 733 típusú elektron mikroszondával mértük meg, és ezt a készüléket használtuk a kőzetben előforduló járulékos ásványszemcsék meghatározására is. A gránátok kémiai összetétele $Alm_{81,1-85,5}$; $Prp_{8,5-14,4}$; $Sps_{0,5-2}$; $Grs_{1,7-7,3}$ értékek között változik, és egyértelmű zónásság a szemcséken nem figyelhető meg. A szín-, és posztkinematikus staurolit szemcsék XFe arányai nem különböznek egymástól. A stabil ásványfázis párokat megállapítva gránát-biotit, gránát-staurolit, és biotitszemcsék reprezentatív kémiai összetételét használtam fel a termométerek elkészítésére, amelyek nagy hasonlóságot mutatnak az ásványszemcsék képződési hőmérsékletének tekintetében.

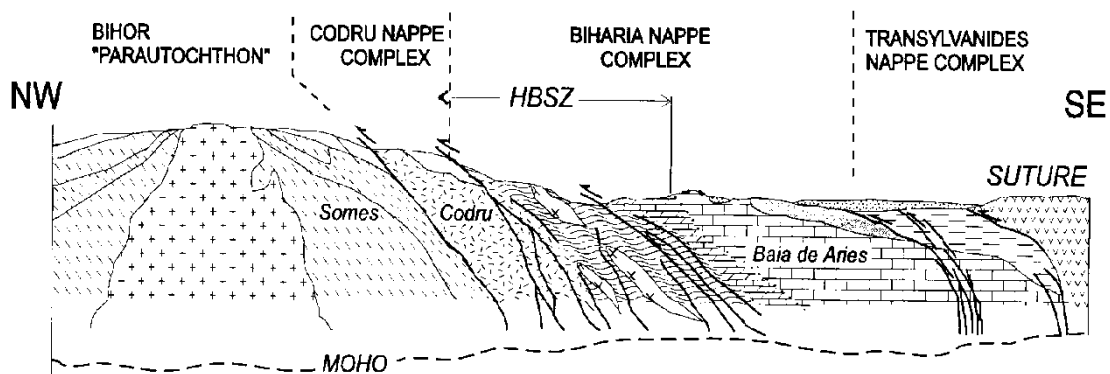
1. Az Erdélyi – szigethegység (Munții Apuseni)

A Kárpát-medence belső keleti részén a környező medencékből kiemelkedő Erdélyi-középhegységet autochton kristályos aljzatra feltolódott takarós szerkezetek és mészkő szirteket hordozó szinorogén üledékes kőzetek építik fel.



1. ábra. Az Erdélyi-szigethegység egyszerűsített földtani térképe.
(Dallmeyer et al., 1999)

Szerkezetföldtanilag két különböző paleogeográfiai helyzetben kialakult részre, az Észak Erdélyi-középhegységre, amely a Tiszai nagyszerkezeti egység része, valamint a Daciai nagyszerkezeti egység részeként a Dél Erdélyi-középhegységre tagolják. Mind a két tektonosztratigráfiai egység az Alpi tektonikus folyamatok eredményeként, a felső krétában került egymás mellé. Az Észak Erdélyi-középhegységet egy autochton helyzetben lévő tektonikai egység (Bihor autochton) és a felső krétában rátolódott, két takarórendszer (Codru, Biharia) építi fel (Dallmeyer et al., 1999).



2. ábra. Az Erdélyi-középhegység szerkezeti felépítése (Dallmeyer et al., 1999).

A Bihor autochton központi részét a szigethegység legnagyobb kiterjedésű intrúziója, a Muntele Mare granitoidok alkotják (Pana, 1998), amely a Gyalui-havasok legmagasabb régiójában bukkan a felszínre. A legújabb publikációk alapján 330-295 millió évre datált plutonnal foglalkozó legfontosabb irodalmak Dimitrescu, 1966; Borcos et al., 1968; Ianovici et al., 1976; Dimitrescu, 1988, 1994; Ghergari és Mariş, 2007; neveihez kapcsolódnak. A Bihor autochton külső részét a Szamos metamorf sorozat alkotja, amelyre DK- irány felől a Codru takarórendszer torlódott fel. Kőzettani felépítését tekintve a takarórendszer metamorf kőzetekből, perm vulkanitokból, triász mészkővekből és alsó kréta korú, flis szerű üledékekből áll. A Daciai nagyszerkezeti egység területén található Nagy Bihari takarórendszert amfibolok, gneiszek, csillámpalák alkotják és hiányoznak a mezozoikumban képződött üledékes kőzetek. A Dél Erdélyi-középhegységet a Daciai nagyszerkezeti egység területén lévő Transzilvanidák néven illetik. Felépítésében késő júra, középső kréta tholites kőzetek, flis jellegű üledékek, és granitoidok – például a Hegyes-Granitoidok – vesznek részt.

1.1 Az Észak Erdélyi-középhegység aljzatának térréumai

Az Észak Erdélyi-középhegység aljzatát három prevariszkuszi térréumra és öt metamorf sorozatra oszthatjuk. Ezek névszerint a Szamos (Someş), Bihari (Biharia), Aranyosbányai (Baia de Arieş), Păiuşeni és a Vulturese-Belioara sorozatok. A Szamos, Bihari és Aranyosbányai metamorf sorozatok egyben térréumok is.

A Bihari térréum főleg metabázitokból és savanyú metamorf kőzetekből áll. A kutatások arra utalnak, hogy egy variszkuszi szigetív lehetett a Szamos és az Aranyosbányai térréumok között. Protolitjának korát 543 millió évesnek gondolják, és egy 350 millió éve történt metamorf esemény is nyomozható benne (Dallmeyer et al., 1999). Az aranyosbányai

terrénum karbonátos kőzetekből, paragneiszből, csillámpalából metagranitoidokból áll. A terrénumban Maruntui és társai retrográd eklogit maradványokat írtak le (Maruntui et al., 2004). A metamorf sorozatot egy passzív kontinentális medencének gondolják, amelynek protolitjának kora ismeretlen. A Vulturese-Belioara sorozat egy triász karbonátos, a Păiușeni sorozat pedig perm vulkáni üledékes kőzettest.

1.2 A Szamos terrénum

A Szamos terrénum geometriailag a legmélyebb helyzetet foglalja el a szigethegységen belül. Felszíni kiterjedése nagyobb, mint az összes többi kristályos sorozatnak együttvéve. A Szamos terrénum építi fel a Gyalu hegységet, a Jára, a Meleg-, és Hideg-Szamos völgyét, a Meszes, a Vlegyásza, Plopiș és a Királyerdő közötti kristályos gerincek nagy részét vagy teljes egészét (Cserepesné Meszéna, 1985). Szerkezeti helyzetét tekintve a Bihar egység, a Garda és a Finis takaró aljzatát képezi (Balintoni, 1997). Északi határán felső kréta és harmadidőszaki posztttektonikus üledéksorozatok találhatók.

A terrénum felépítésében a Szamos metamorf sorozat, a Păiușeni és a Vulturese-Belioara sorozatok vesznek részt. A terrénum és tágabb környezetének földtani kutatásait a 20. század elején Pálffy és Rozlozsnik kezdték meg, majd az 1939-ben megjelent munkájuk számított a további kutatások alapjának. A terrénummal kapcsolatos fontosabb kutatómunkák Pálffy et al., 1939; Giusca et al., 1967; Dimitrescu et al., 1974; Soroiu et al., 1969; Pavelescu et al., 1975; Hartopan et al., 1982; Balintoni., 1985; Dimitrescu., 1988; Pană et al., 1996; Kalmar, 1994; Balintoni, 1997; Pană, 1998; Dallmeyer et al., 1999; Stumbea, 2001; Murariu, 2001; neveihez köthetők.

1.3 A Szamos metamorf sorozat felépítése

A Szamos metamorf sorozat litológiai összegzését Balintoni (1997) végezte el, Dimitrescu 1988-as munkáját alapul véve. Dimitrescu a metamorf sorozaton belül megkülönböztetett három tagozatot és egy alegységet. A legelső szerkezeti helyzetben lévő tagozat a Valea Cosuri (Kosarak-völgyi) Csillámpala Formáció. Ezt a formációt csillámpalák és paragneiszek alkotják, amelyeket amfibolit, kvarcit és káliumföldpátot nagyarányban tartalmazó gneisz betelepülések tarkítanak. Ezután következik a Giurcuța de Sus (Gyurkucai) Leptinit-amfibolit Formáció, amely csillámpalából, leptinitből, földpát tartalmú kvarcitokból,

és amfibolitból áll. A harmadik formáció a Felső Csillámpala Formáció, amely olyan csillámpalákból és leptinitekből áll, amelyeket fehérszínű kvarcit és grafitos kvarcit közbeiktatások jellemeznek.

Dimitrescu megemlíti még az Arada sorozatot is mint a Szamos metamorf sorozat egyik „alformációját”, amit retrográd jellege miatt sorolnak a Szamos sorozathoz. Szerkezetileg a Szamos sorozat fedőjében figyelhető meg, mintegy 4,5 kilométer vastagságban. Ebből a sorozatból retrográd csillámpalákat, amfibolitot, metaporfiroidokat, grafitos kvarcitokat, és karbonát lencsákat írtak le (Dimitrescu, 1988.).

1.4 A Szamos sorozat petrológiája és fejlődéstörténete az eddig megjelent irodalmak tükrében

A Szamos sorozat összetett és bonyolult metamorf történettel rendelkezik. Az előző fejezetben említett formációk csillámpalái, gneiszei és amfibolitjai hasonlóak abban a tekintetben, hogy többszörösen átöröklött paragenéziseket írtak le belőlük (Hartopan et al., 1982). Hartopan szerint az időben első, tehát a legrégebbi paragenézisben a jellegzetes index ásványok (D1) a kianit és a staurolit, melyeket egy második esemény (D2) bekövetkeztével szillimanit megjelenése követett. A harmadik, legfiatalabb esemény (D3) paragenézisei retrográd jellegűek biotittal és klorittal. A formációk átöröklődött paragenéziseit alapul véve a kutatók úgy gondolják, hogy az adott időben viszonylag merev szerkezeti egységként (terrénium) viselkedő akkréciós ék térrövidülés által bekövetkezett regionális metamorfózisáról lehet szó.

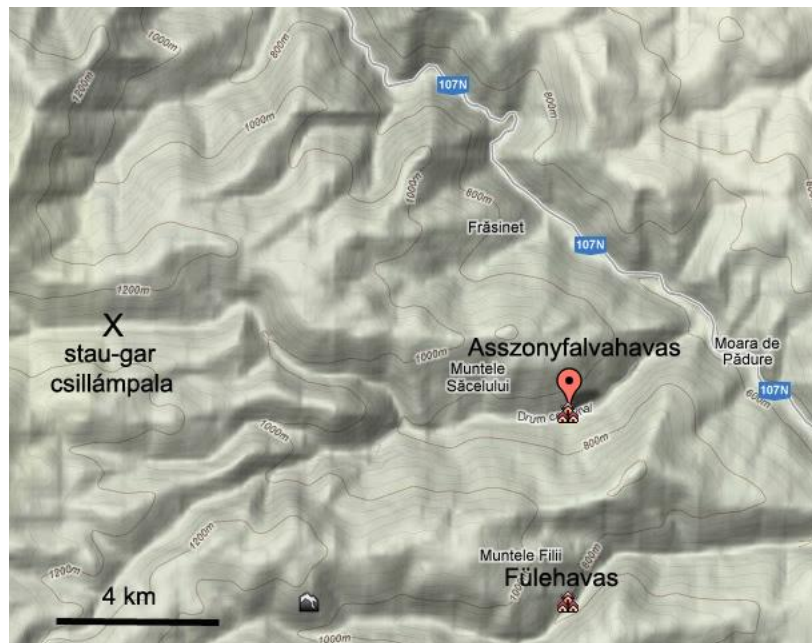
A termometria számításokat illetően (3.táblázat) kevés mérés készült. Nagyrészt a Muntele Mare granitoidok pegmatitjaiból és minimális szinten a Szamos sorozati csillámpalák összetételeiből készítették őket. Az irodalmazás során talált termometria adatsorokat az X. táblázat foglalja össze.

1.5 A Szamos terrénium geokronológiai viszonyai

A Szamos terréniumról viszonylag sok geokronológiai adat (4.,5.táblázat) került a napvilágra (Soroiu et al., 1969; Pavelescu et al, 1975; Pana, 1996; Dallmeyer et al., 1999.) A problémát itt is az képezi, hogy a mérések nagy részét elsősorban a Muntele Mare granitoidokon, kisebb hányadban a többi formáció gránitjain végezték el és a gneiszekről, amfibolitokról és csillámpalákról kevés információ áll rendelkezés.

2. Mintavételi hely

A Szamos sorozatból származó minta a Gyalui-havasok (Muntii Gilăului) északkeleti részéről, Asszonyfalahavas (Muntele Săcelului) település közeli V.Sălașelor-völgyi kibukkanásból származik (8. ábra).



3. ábra. Az asszonyfalahavas közelében lévő mintavételi hely.

A mintavételi hely (X) koordinátái: É: 46° 36'24,52"

D: 23° 19'04,70"

pontosság: 17 m

H: ~1200 m

A mintákat az erdészeti szervizút baloldali szikla kibukkanásából és az az előtti törmeléktelejtőből gyűjtöttem. A kutatás céljára hat darab üde mintát választottunk ki, amelyek közül petrológiai kutatásra két darabot terjesztettünk elő.

3. Módszerek

3.1 Ásványnevek rövidítései

A diploma dolgozatomban használt ásványok neveinek rövidítésére a Kretz-féle (1983) nomenklaturát használtam. Az ásványneveket és azok rövidítéseit az 1. táblázat foglalja össze.

Ásvány nevek	
biotit	bio
klorit	chl
gránát	gar
ilmenit	ilm
muszkovit	mu
kvarc	qtz
rutil	rt
staurolit	stau
cirkon	zrn

1.táblázat

3.2 Makroszkópos és mikroszkópos vizsgálat

A terepi mintavételezést követően megtörtént a hat darab minta vizsgálatokra való előkészítése. A makroszkópos megfigyeléseket követően két darab mintát választottunk ki a vékonycsiszolatok elkészítésére valamint a további vizsgálatok elvégzésére.

A vékonycsiszolatokat a Szegedi Tudományegyetem Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszékén készítették el. A csillámpala minták beágyazását követően 25-30 µm vastagságra csiszolt mintákat a tanszéki laboratóriumban lévő Brunel SP-300-P típusú polarizációs mikroszkóppal és Olympus SZX7 polarizációs binokuláris mikroszkóppal vizsgáltam.

3.3 Elektron mikroszondával végzett mérések

A mikroszondás mérések az MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Földtani és Geokémiai Intézetében készültek, egy Oxford Instruments INCA Energy 300 energiadisperzív spektrométerrel felszerelt JEOL Superprobe 733 típusú elektron mikroszondával. A mérési körülmények: 20 kV gyorsítófeszültség, 8 nA sugáráram. A

használt sztenderdek: kvarc (Si), rutil (Ti), korund (Al), hematit (Fe), spessartin (Mn), MgO (Mg), wollastonit (Ca), albit (Na) és ortoklász (K).

4. Petrográfiai eredmények

4.1 Makroszkópos eredmények

A szürkés színű csillámpalákon nagyfokú és többirányú irányítottság látható és könnyen felismerhetők a foliációt kirajzoló sík, és a lineációt adó lineális szerkezeti jellegek. Szabad szemmel megfigyelhetők a foliációs irányban elhelyezkedő, 0,5 – 1,0 centiméter átmérőjű gránát szemcsék (1. kép), a kisebb-nagyobb idiomorf staurolitok, továbbá felismerhetők az irányítottságot kirajzoló csillámkötegek, csillámsávok, és a kvarcsemmcsék halmazai.



1. kép. Fényképfelvétel a vágott mintadarabról

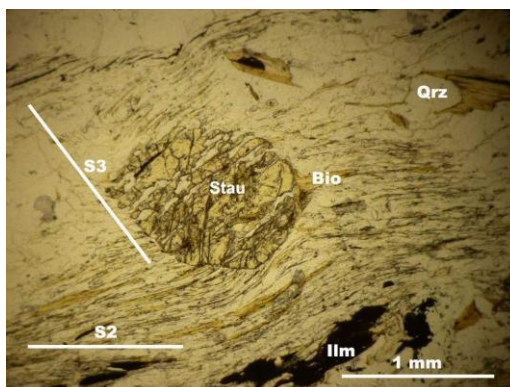
4.2 Mikroszkópos eredmények

A vizsgálat tárgyát képező staurolit-gránát csillámpala mátrixát muszkovit, biotit, kvarc, és ilmenit definiálják, amelyekben különböző szöveti helyzetben elhelyezkedő poszt- és szinkinematikus staurolit szemcsék (2.kép), valamint reliktszöveti bélyegeket tartalmazó gránát porfiroblasztok (4.kép) figyelhetők meg.

Akcesszórius elegyrészként a cirkon, rutil, apatit és monacit vannak jelen. Az erősen irányított szövetben jellegzetesen két, egymással szöget bezáró foliációs irány (S_2 - S_3) látható

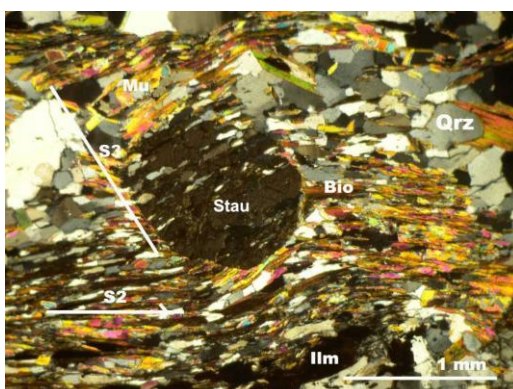
(4.kép), amelyben az S_2 foliációt muszkovit és biotit sávok, kvarc szalagok, és ilmenitben gazdag zónák jelölik ki. Ebben a palásági irányban, a foliációt megtörve helyezkednek el a szinkinematikus staurolitok (2.kép), valamint a rutil és kvarc zárványsorokat (S_1) tartalmazó gránát porfiroblasztok.

A mátrix anyagát nem számítva a staurolit a legnagyobb mennyiségben előforduló ásvány a kőzetben (5.kép). Megjelenését tekintve idiomorf szemcséket alkot, és ikresedett formában is megjelenik, mérete 0,2–4,0 cm között változik. A staurolit szemcséken belüli repedéseket ilmenit és muszkovit töltik ki, valamint relikv fázisokként kvarc és apatit zárvány is látható. Az S_2 foliációval szinkinematikus ásványformaként értelmezett szemcsék csillám sávok között találhatók, míg a posztkinetikus formái általában kvarc mellett észlelhetők.



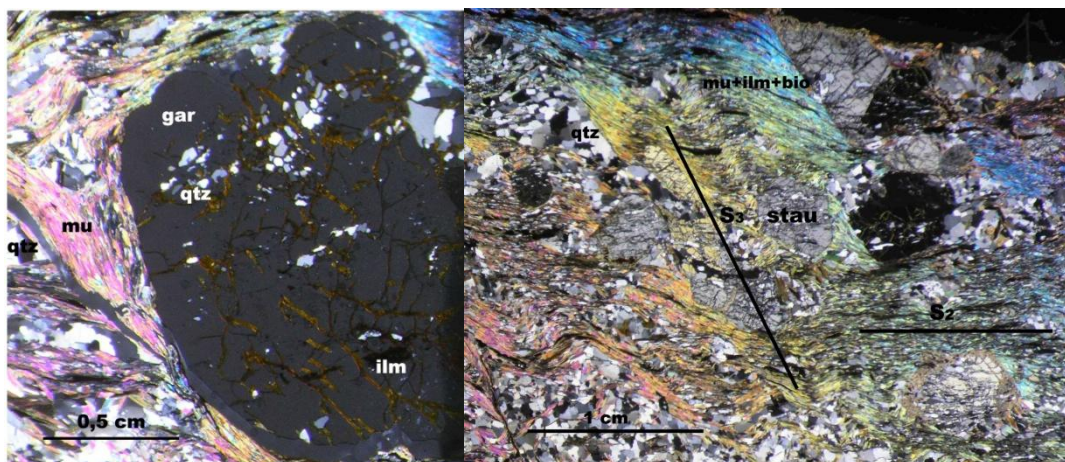
2. kép. S_2 foliációval szinkinematikus staurolit szemcse. (IN)

A gránátok idiomorf szemcséi 0,3–1,0 mm között változnak és többirányú repedések szelik át, amelyeket muszkovit és ilmenit töltenek ki. Elhelyezkedésük az S_2 foliációban, biotit és muszkovit kötegek között van. Szemcséin belül apatit, monacit és az S_1 irányt jelölő kvarc és rutil zárványsorok találhatók (4.kép).



3. kép. S_2 foliációval szinkinematikus staurolit szemcse. (XN)

A kőzet mátrixában feltűnően kevés biotit az S_2 foliációban látható. A biotit szemcsék nagy része rostokban a staurolitok és gránátok peremei mentén találhatóak és egyes darabjai a foliáció irányával szöget bezárva helyezkednek el. Bizonyos szemcséi bontottak, és kloritosodtak.



4. kép. Gránát szemcse (XN)

5. kép. XN-állású szöveti kép.

A mátrix anyag legnagyobb hányadát a muszkovit kötegek és kvarc sávok váltakozása adja (5.kép). Sokszor hajlott szerkezettel érintkezik a muszkovit, a gránát vagy staurolit szemcsékhez, ami alapján feltételezhető a porfiroblasztok szinkinematikus jellege. A kvarcsemmék mérete kaotikusan változik a csiszolaton belül. Hol nagyobb kötegekben, hol pedig kisebb sávokban láthatóak és nagy hányaduk unduláló kioltású.

5. Ásványkémiai eredmények

Staurolit

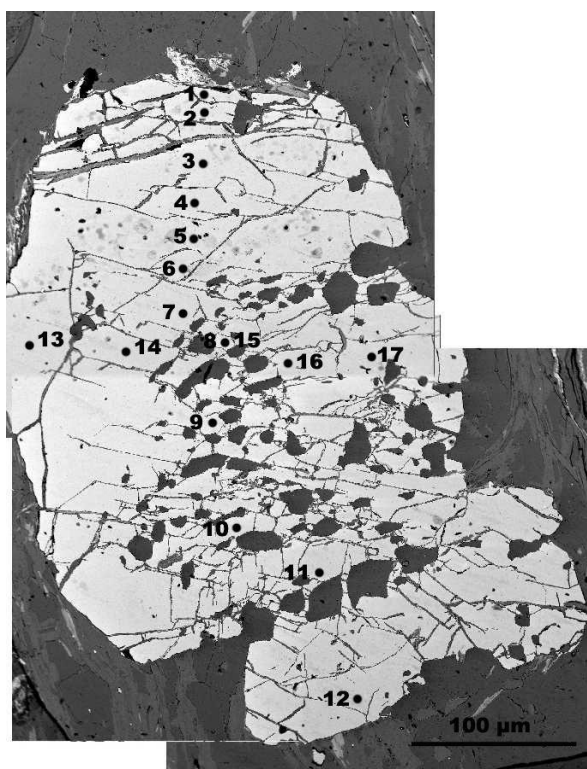
Az S_2 foliációval szinkinematikus staurolitokon, és a posztkinematikus staurolit szemcséken is mértünk ásványos összetételt, melynek eredményeit az 9.-es és 10-es táblázat foglalja össze. A szemcsék homogén kémiai összetételűek. A szinkinematikus fázisok XFe-arányai $[Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)]$ 0,81–0,84 közötti értékek, ezektől az értékektől a posztkinematikus staurolitok XFe-arányai nem különböznek.: XFe: $[Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)]$ 0,81–0,87. A staurolit szemcsék általában 13 – 14 % FeO_2 tartalmaz és durván 2 % MgO -ot.

Gránát

A kémiai eredményeket (6., 7., 8. táblázat) kiértékelve elmondható, hogy a gránát szemcsék homogén kémiai összetételűek, és a növekedési zónásság a 2-es és 3-as gránát szemcséken kívül nem látható (2., 3. diagram.). A 2-es gránát szemcse magjában mért spessartin tartalom tízszer nagyobb, mint a szemcse peremén mért érték, miközben az almandin és a pirop értéke a magtól távolodva nő. A 3-as szemcsében is megfigyelhető a növekedési zónásság, mivel a magban mért grosszulár tartalom háromszor nagyobb értéket mutat, mint a szemcse peremén. A gránát szemcsék összetételei $\text{Alm}_{81,1-85,5}$; $\text{Prp}_{8,5-14,4}$; $\text{Sps}_{0,5-2}$; $\text{Grs}_{1,7-7,3}$, XFe-arányai $[\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+}+\text{Mg})]$ 0,85-0,92 között változnak.

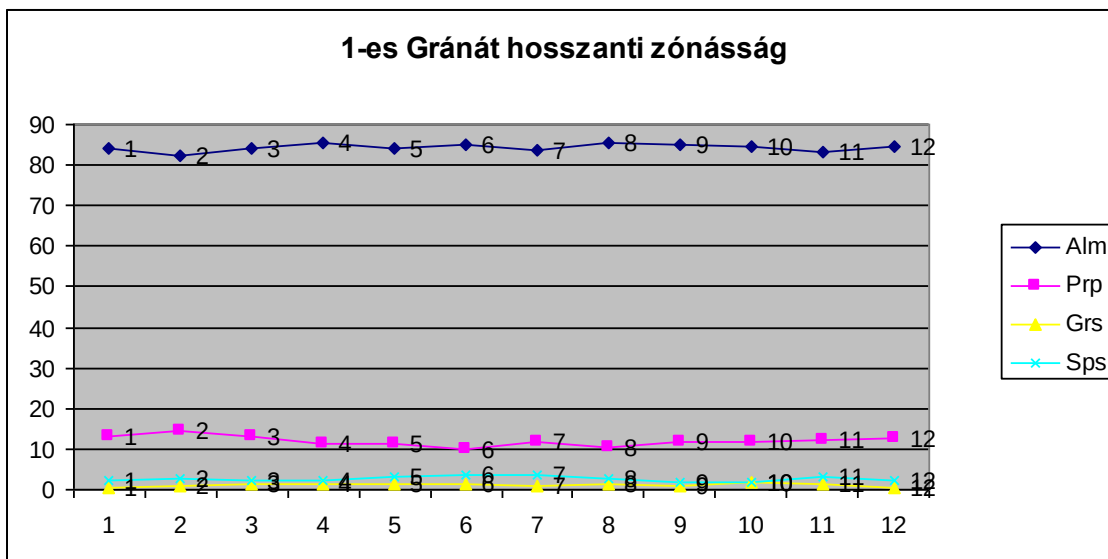
Az elektron mikroszondás mérések helyeit a szemcséken számokkal jelöltem és a 4-es és az 5-ös képfelvételen szemléltetem.

A gránát 1 szemcse hosszanti traverz (6.kép) és keresztirányú traverz (6.kép) menti reprezentatív kémiai összetételeket a 6. táblázat foglalja össze. Gránát 2 szemcse valamint a Gránát 3 szemcse nevezetű táblázatban tüntetem fel a Gránát 2 és Gránát 3 szemcsék főleg geokémiai összetételét. A táblázatok adatait felhasználva elkészítettem a gránátokra vonatkozó zónássági profilokat is, amelyet az 1., 2., és 3. diagramok szemléltetnek.

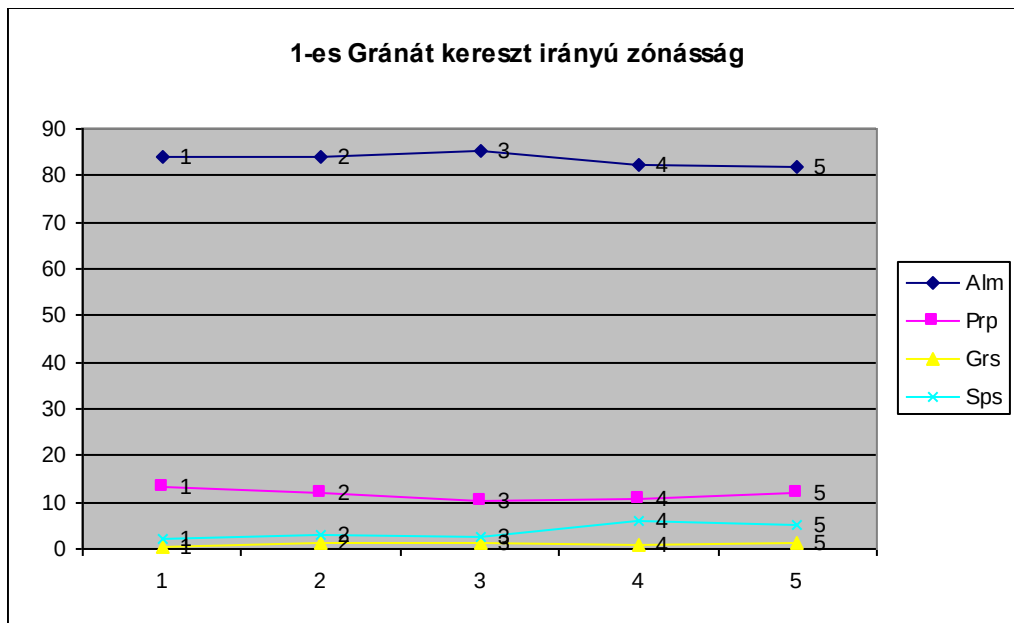


6. kép. Az S2 foliációban lévő 1-es gránát elektron mikroszondás felvétele.

Az 1-es gránát (6.kép) elektron mikroszondás felvételén számokkal jelölt mintavételi pontokon kívül megfigyelhető a szemcsén belül lévő relikv kvarc szemcsék. Az 1.diagram a gránát szemcse (6.kép) jelölt pontja mentén elkészített zónássági profilt mutatja.

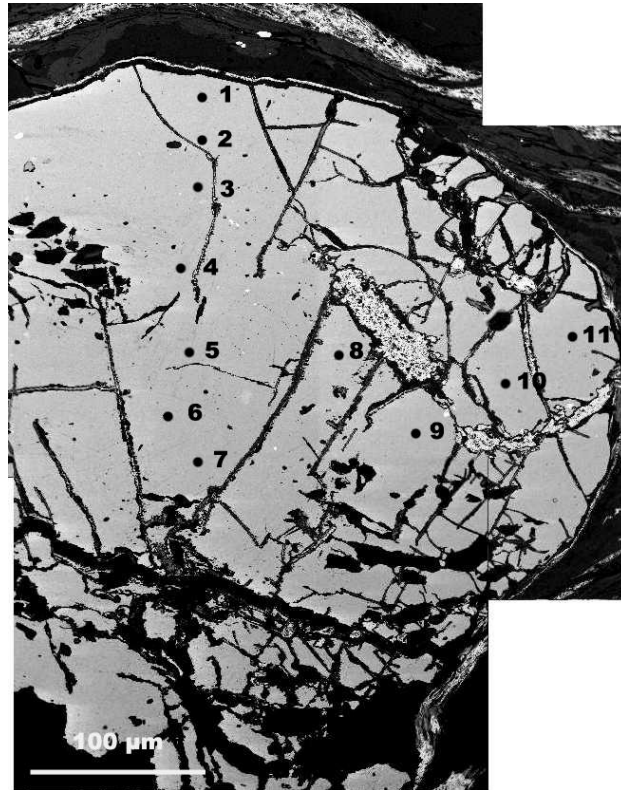


1. diagram. Az 1-es gránát zónássági profilja

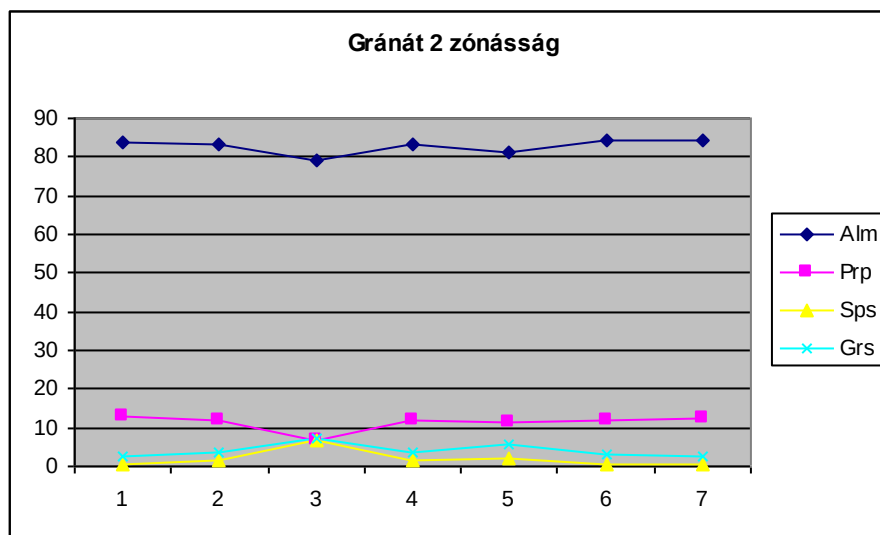


2. diagram. Az 1-es gránát keresztirányban felvett zónássági profilja.

A 2.diagramon látható, hogy a 4-es és 5-ös pontokban az almandin tartalom csökken, amíg a spessartin tartalom nő. A pirop és grosszulár tartalom nem változik jelentősen.



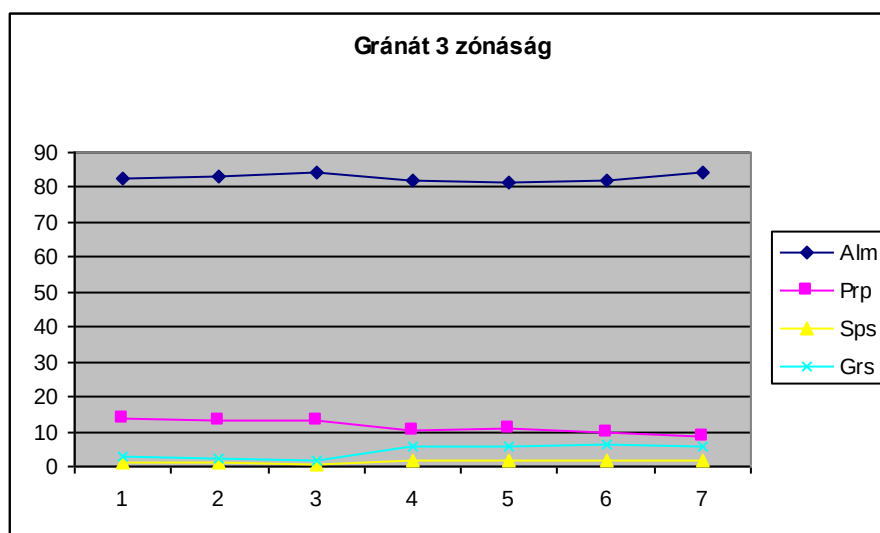
7. kép. A gránát 2 szemcse elektron mikroszondás felvétele.



3. diagram. A gránát 2 szemcse zónássági profilja.

Az 7. táblázat és a 3. diagram jól szemlélteti a hármas mérési pontban lévő spessartin tartalom növekedését, valamint ezzel párhuzamosan az almandin és pirop tartalom lecsökkenését.

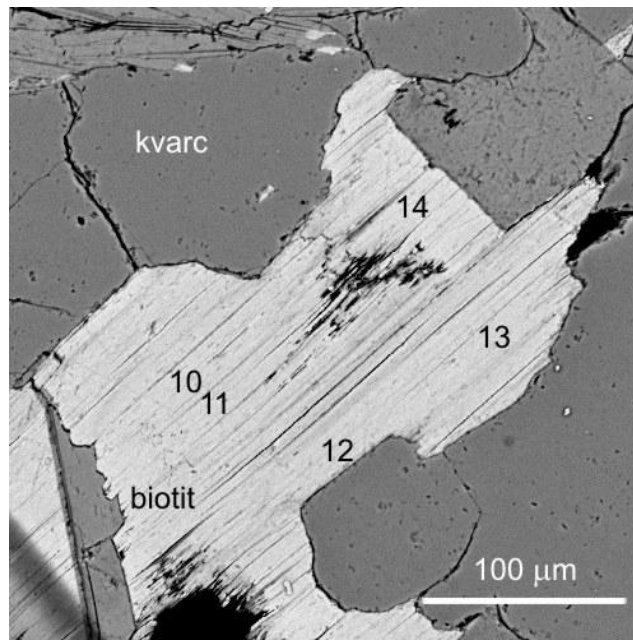
A 8. táblázatból és a 4. diagramból kiolvasható a 3-as szemcse növekedési zónássága, ugyanis a magban mért grosszulár tartalom háromszor nagyobb értéket mutat, mint a peremen mért érték.



4. diagram. A gránát 3 zónássági profilja.

Biotit

A biotit szemcsék nagy része homogén összetételt mutat, szembetűnő kilengések csak az 1-es minta egyik szemcséjében (11. táblázat), a TiO_2 tartalomban mutatkoznak meg. A biotit 1 szemcsék XFe-aránya 0,44-0,52 közötti értéket mutat, amíg a biotit 2 szemcsék XFe-aránya 0,48-0,56 között mozog. A biotit szemcsék összetételeit a 9. táblázat tünteti fel.



8. kép. Biotit szemcse elektron mikroszondás felvétele a mintavételi pontokkal bejelölve.

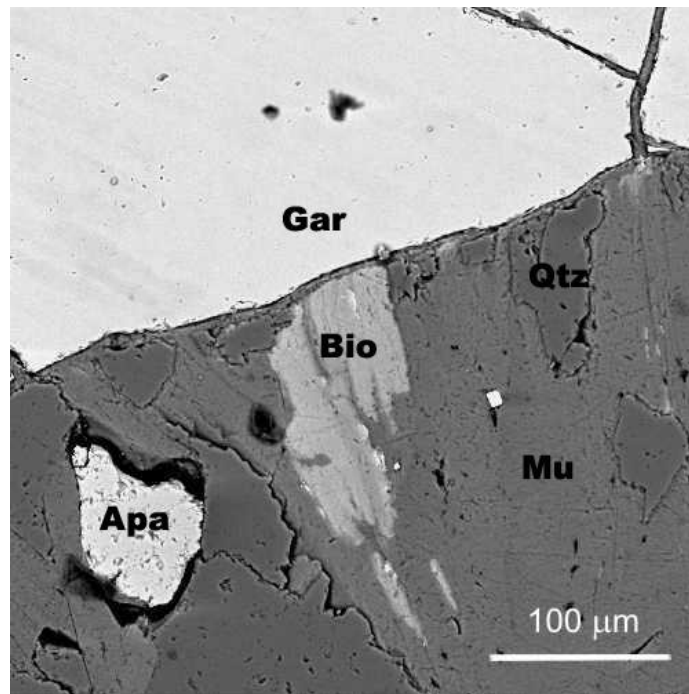
Muszkovit

Mivel a muszkovit optikai tulajdonságai csaknem teljesen megegyeznek a fenngitével, ezért a geokémiai összetételt is figyelembe kell vennünk az ásványunk meghatározásánál. A kérdéses szemszék szilícium és alumínium aránya, valamint a 44,9-46,67 közötti SiO_2 tartalom alapján muszkovitnak tekinthetőek (11.táblázat).

6. Termometria

A szöveti, valamint az elektron mikroszondával végzett vizsgálatok során megállapított egyensúlyi ásványpárok kémiai összetételét használtam fel a termometriai számítások elvégzésére. Az általam kiválasztott termometriai módszerek elsősorban metapéliterekre alkalmazhatóak, és a különböző ásványfázisok rácsszerkezetei között lejátszódó ionhelyettesítések, ioncserélődéseken alapulnak. Első lépésként meg kell állapítani azokat a stabil ásvány párokat amelyekre elvégezhetőek a számítások. Ezek a mintámban a biotit-gránát, és gránát-staurolit ásványpárok, és ezektől függetlenül külön foglalkoztam a biotittal.

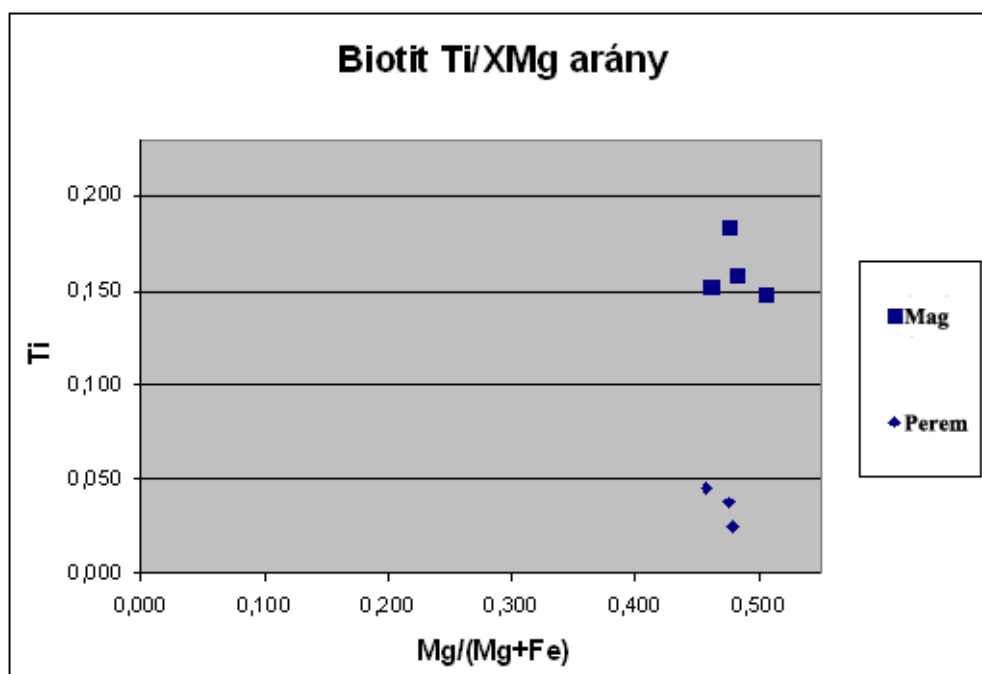
Az ásványok képződési hőmérsékletére Thompson, (1976); Hodges and Spear, (1982); Perchuck, (1989); Bathacharya et al, (1992), és Henry et al, (2005) módszereit alkalmaztam.



9. kép. Egyensúlyi helyzetben lévő gránát-biotit szemcse.

6.1 Biotit mag meghatározás

A pontos termometriai modellezéseknél nem csak az egyensúlyi ásványfázisokra, hanem azok kémiai összetételére is figyelemmel kell lenni. A különböző ásványszemcsék rácspontjai között lejátszódó ioncserélődési folyamatok mértékét és milyenségét számos tényező befolyásolja. Külső tényezők közül nagy szerep jut a hőmérsékletnek, nyomásnak, elektrokémiai potenciálnak és a pH-nak. Egyes termometriai számításoknál célszerű olyan ásványkémiai összetételekkel számolnunk, amelyek a legmagasabb ásványképződési hőmérsékletéről árulkodnak nekünk. Ennek egyik feltétele, hogy egy szemcse különböző pontjaiból is rendelkezünk elem összetételi méréssel. Így bizonyos számításokat felhasználva fel tudjuk térképezni, hogy a szemcse melyik része képződött magasabb hőmérsékleten. A biotit szemcsék esetében a Ti/XMg arány alkalmas ezeknek a zónáknak az elkülönítésére (Henry et al., 2005). A feltérképezett legmagasabb hőmérsékletéről árulkodó pont kémiai összetételét felhasználva, a stabil ásványpárok (biotit-gránát) alapuló termometriai számítások is pontosabb adatokat szolgáltatnak. Hat biotit szemcse különböző pontjaiból mértünk főelem összetételt és ezeknek a Ti/XMg arányait összehasonlítva el lehetett különíteni a szemcséken belüli mag és perem területeket.



5. diagram. Biotit szemcsén belüli Ti/XMg arány elkülönülése.

6.2 Termometriai számítás (Ti in biotite)

A biotit szemcsék képződési hőmérsékletének kiszámításához szükségünk van szemcsék XMg ($Mg/Mg+Fe$) értékeire és a Ti tartalomra. Ezeket az eredményeket ezután be kell helyettesíteni a $T = ([\ln(Ti) - a - c(X_{Mg})^3]/b)^{0.333}$ tapasztalati képletbe ahol az **a**, **b** és **c** elemek konstans értékek.¹ Az egyenlet kiszámolását követően megkapjuk a vizsgált szemcse képződési hőmérsékletét °C-ban ami a 13. táblázat első sorában kerül bemutatásra. A Thompson, Hodges and Spear, Perchuck, és Bathacharya-féle termometriai számítások az stabil ásványfázisok (gránát-biotit) közötti magnézium-ion és vas-ion arányokon alapulnak, csak más konstans értékekkel számolnak.

6.3 Termometriai eredmények

A számítások eredményeit a 2. táblázatban foglaltam össze. A táblázatban a kapott hőmérsékleti adatok mellett feltüntettem a módszer publikálóját, és azt az ásványt, valamint azokat az ásvány párokat amelyeknek kémiai összetételét felhasználtam a számítások során

A kiértékelés során megállapítható, hogy a különböző termometriai módszerek

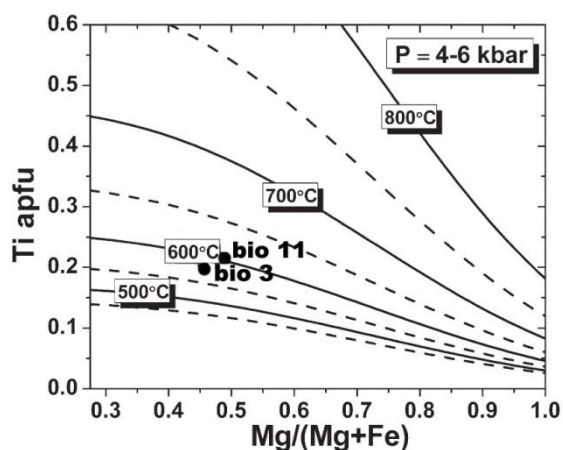
¹ A Henry-féle koefficiens értékek (Henry et al, 2005)

a= -2.3594, **b**=4.6782, **c**=-1.7283

alkalmazásával kapott eredmények szerint, a vizsgált szemcsék 570-613 °C közötti értékek között képződtek.

Ásvány (Pár)	Termometriai módszer	Eredmény
Biotit	Henry et. al., 2005	570-595°C
Gránát-Biotit	Hodges and Spear 1982	572-598°C
Gránát-Biotit	Thompson, 1976	585-601°C
Gránát-Biotit	Bhatt et. Al., 1992	600-613°C
Gránát-Staurolit	Perchuck, 1989	577°C

2. táblázat. Termometriai táblázat.



4. ábra. A biotit 3 és biotit 13 szemcsék magjainak képződési hőmérséklete.

7. Termobarometria

A Domino/Theriak (De Capitani, 1994) modellező rendszer egyensúlyi paragenéziseket számol tetszőleges nyomás (P) és hőmérséklet (T) értékek mellett a vizsgált kőzet teljes geokémiai összetétele alapján. A modellezés során bármely P-T pont esetén az adott kémiai rendszerben a használt termodinamikai adatbázis (Berman, 1988) alapján algebrailag lehetséges ásvány paragenézisek közül az algoritmus a minimális Gibbs energiával járót tekinti stabilnak (De Capitani & Brown, 1987). Az így kapott eredmények összevethetőek az vékonycsiszolatban, és az egyéb vizsgálat során (pl: elektron mikroszkop) észleltekkkel. Ezt követően a Theriak alprogram a legalacsonyabb Gibbs energiával járó paragenéziseket számos meghatározott kémiai összetétel esetén a korábban általuk megadott nyomás és hőmérséklet pontban.

7.1 P – T modellezés

A mikroszkópi megfigyelések szerint a mintában 36% Kvarc, 26% Muszkovit, 20% Staurolit, 12% Biotit és 6% Gránát van. A modellezés első lépéseként a vizsgált kőzet kémiai összetételét át kell számolnunk oxigén faktor kation mol arányba, és így létre lehet hozni a kőzet öszképletét, amit a bemeneti paraméternél (Theriak) adunk meg. Az általam megadott összetétel: SI(70)AL(50)FE(30)K(10)MG(10)O(270)H(20). Ez tartalmazza a gránát-csoport Almandin és Pirop tagjait (Alm81%, Pir19%) a biotitot (Annit, Flogopit), a muszkovitot és a kvarcot (4.ábra). Az egyensúlyban lévő paragenézist 600°C, és 6000 bar nyomáson vizsgáltam.

A Domino Brown 87 modellező program konzisztens ásvány adatbázisa nem tartalmazza a magnézium tartalmú staurolitot, így azzal nem számolhattam a számítás során

```

TEST = 1.0000E-07      LO1MAX = 300      EQUALX = 1.0000E-04
DELXMIN = 1.0000E-07   DELXSTAR = 1.0000E-02  STEPSTAR = 25
DELXSCAN = 1.0000E+00  GCMAX = 100
STEPMAX = 15

P = 6000.00 bar      P(Gas) = 6000.00 bar      T = 600.00 C      = 873.15 K
stable phases: 4      loop = 13
G(-) = 9.65883E-10   G(System) = -135660928.44      R = 8.3143000

  x      phase      x      N      mol%
  -----      Activity      act.(x)
  -      -      -      -      -

  0 3 GAR      11.666667      43.750000      PYROPE
.185972      1.85972E-01      8.20721E-03      8.20721E-03      ALMANDINE
.814028      8.14028E-01      5.56269E-01      5.56269E-01

[Mg(M)]      = .185972      [Fe(M)]      = .814028

  0 4 BIO      1.666667      6.250000      PHLOGOPITE
.698199      6.98199E-01      6.98199E-01      6.98199E-01      ANNITE
.301801      3.01801E-01      3.01801E-01      3.01801E-01

31 0 MUSCOVITE      8.333333      31.250000

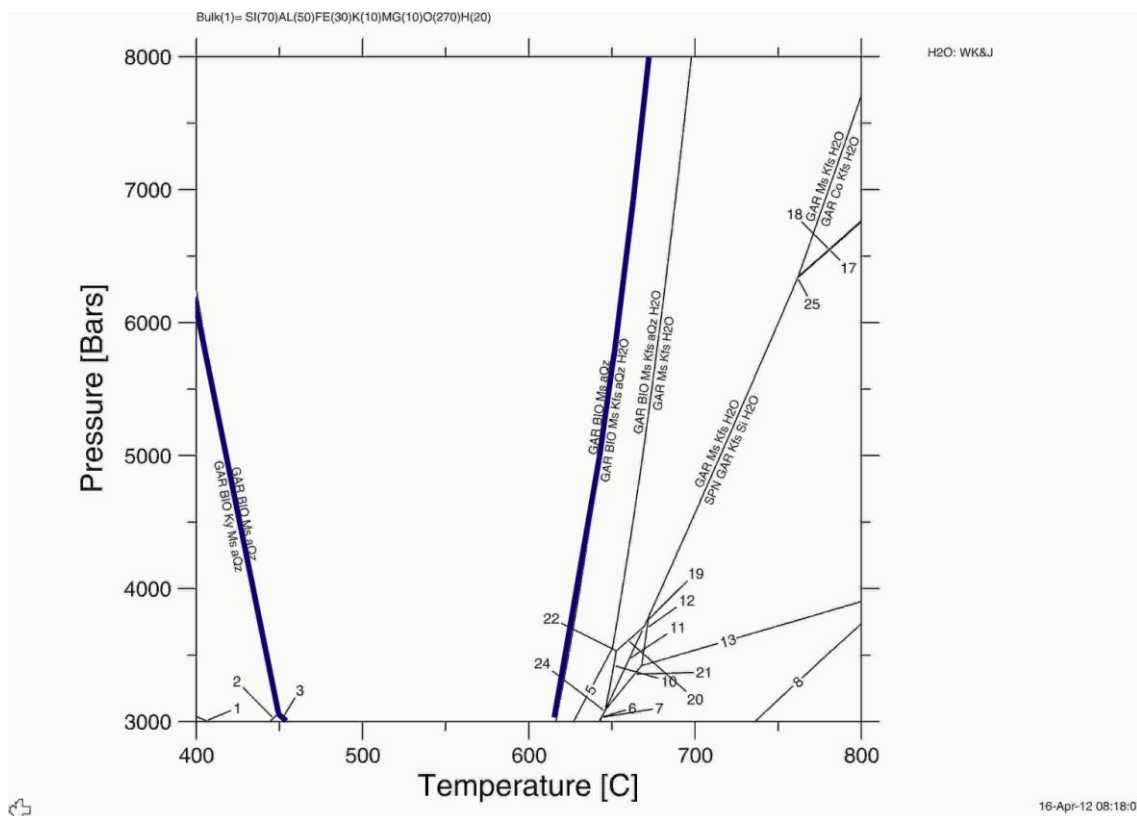
39 0 A-QUARTZ      5.000000      18.750000

```

5. ábra. A Theriak modellező programban használt ásvány fázisok és paramétereik.

A kvantitatív fázis diagramok nagy előnye, hogy a legfontosabb kőzetalkotó fázisok kémiai összetétele bármely P-T pontban kiszámítható és összevethető a csiszolati megfigyelések, vagy a mért ásványkémiai paraméterekkel. Az 6. ábrán láthatóak a - vizsgált minta - minimális Gibbs-energiával járó ásvány átalakulásaink izopleth vonalai. A modellezést

követően kapott fázisdiagramon (7.ábra) az látható, hogy a vizsgált paragenézis határait a kianit és káliföldpát fázisok megjelenése adja.

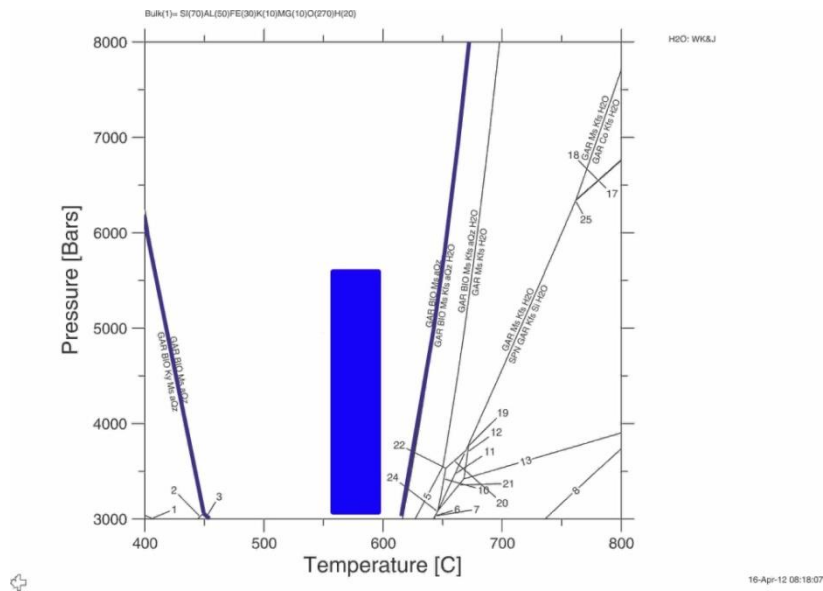


6. ábra. Bio+qtz+mu+gar egyensúlyi fázisok P-T ablaka.

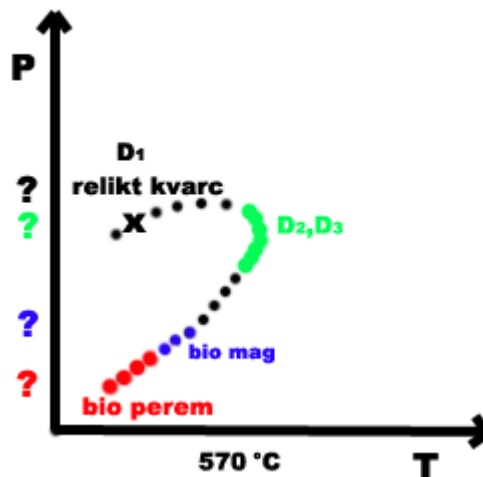
8. Konklúzió

A mintával végzett vizsgálatok után kijelenthető hogy az asszonyfalvahavasi staurolit-gránát csillámpala polimetamorf fejlődéstörténettel rendelkezik. Erről tanúskodnak a csiszolatban megfigyelt reliktszöveti bélyegeket tartalmazó gránátszemcsék, a poszt-, és szinkinematikus staurolitok, a feltűnően sok ilmenit amelyek valószínűleg a retrográd úton történő biotit bomlásából származnak és a kőzet klivázs szerkezete. A gránátok zónásságának hiányosságát kétféle képen magyarázhatjuk meg: 1. a gránátok a metamorfózis csúcsa körül nőhettek viszonylag nagy sebességgel, és/vagy 2. a későbbi diffúzió tüntette el a korábbi zónásság nyomait. A biotittal valamint a stabil ásvány párokkal történt termometriai számítások eredményei beleillenek a Domino / Theriak (De Capitani, 1994) modellező programmal számított P-T ablakba (7.ábra). Néhány biotit szemcse kloritosodása retrográd folyamatokra utal, de nem rendelkezek elegendő mintával a kérdés eldöntését illetően. A

közvetben megfigyelhető két generációs staurolitokkal kapcsolatos vizsgálatok arról árulkodnak, hogy nem volt számottevő P-T különbség a szin-, és posztkinematikus staurolit szemcsék képződését illetően. A D_1 deformációs eseményre emlékező gránát szemcsék képződtek a legmagasabb P-T viszonyok között, majd az ezután következett D_2 (S_2) és D_3 (S_3) deformációs esemény (8.ábra) ami hasonló P-T körülmények között ment végbe. A legkisebb hőmérsékletre és nyomásra a biotit szemcsék peremei emlékeznek. Mindezekből az eredményekből arra lehet következtetni, hogy a vizsgálat tárgyát képező asszonyfalvahavasi staurolit – gránát csillámpala fejlődéstörténete egy tektonikus ciklus alatt zajlott.



7. ábra. A minta P-T viszonyait bemutató fázisdiagram.



8. ábra. A staurolit-gránát csillámpala becsült P-T útja.

Köszönetnyilvánítás

Szeretném köszönetemet kifejezni Almási Enikő Eszter PhD hallgatónak a románnyelvű irodalmak fordításaiban nyújtott segítségével, András Eduárdnak a terepi munkában nyújtott segítségével, Bencsik Attilának a vékonycsiszolatok elkészítéséért, Dr. Bozsó Gábornak a geokémiai mérésekkel kapcsolatos segítségével, Dr. Dobosi Gábor úrnak az MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Földtani és Geokémiai Intézetében elvégzett elektron mikroszondás mérések során nyújtott segítségével.

Külön köszönetemet szeretném kifejezni témavezetőmnek Dr. M. Tóth Tivadarnak szakmai segítségével, valamint Misi Dávidnak, Molnár Lászlónak, Szalóki Zoltánnak, Réder Zsófiának és Szabó Natáliának.

Irodalomjegyzék

- Balázs, E., Cserepes-Meszéna, B., Nusszer, A., Szili-Gyémánt, P., 1986. An attempt to correlate the metamorphic formations of The Great Hungarian Plain and the Transylvanian Central Mountains (Muntii Apuseni). *Acta Geologica Hungarica* 29 (3-4). 317-320.
- Balintoni, J., Balica, J., Cliveți, M., Li, Q., Hann, H. P., Chen, F., Schuller, V., 2009. The emplacement age of the Muntele Mare Variscian granite. *Geologica Carpathica* 60, 495-504.
- Balintoni, J., 2005. Divizare geotectonică a teritoriului României pentru orogeneza alpina. Raport de Cercetare (Kutatási jelentés), Universitatea: Babes-Bolyai
- Balintoni, J., Balica, J., Cliveți, M., Li, Q., Hann, H. P., Chen, F., Schuller, V., 2006. New U/Pb and Pb/Pb zircon ages from the Biharia terrane rocks, Apuseni Mountains, Romania. *Studia Universitatis Babeş-Bolyai, Geologia*, 51 (1-2): 61-65.
- Bellák, G., 2009. A Tiszai egység és az európai Variszkuszi-hegységrendszer metamorfikumánk korrelációs lehetőségei. Diplomamunka. SZTE, TTIK. Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék.
- Császár, G., 2005. Magyarország és környezetének regionális földtana I. Paleozoikum-Paleogén (ELTE Eötvös Kiadó Kft., ISBN: 963 463 744 2)
- Dallmeyer, R. D., Pană, D., Neubauer, F. and Erdmer, P. (1999): Tectonothermal evolution of the Apuseni Mountains, Romania: Resolution of Variscan versus Alpine events with $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages. *Journal of Geology*, 107, 329-352.
- Ghergari, L., Mariş C., 2007. Petrology and geochemistry of the Muntele Mare granitoid (Northern Apuseni Mountains), Romania. *Studia Universitatis Babeş-Bolyai, Geologia* 52. 11-18.
- Henry, D. J., Guidotti, C. V., Thomson, J. A. 2005. The Ti-saturation surface for low to Medium pressure metapelitic biotite: Implication for Geothermometry and Ti-s substitution Mechanisms. *American Mineralogist* 90, 316-328.
- Horváth, P., 2009. Kvantitatív fázisdiagramok alkalmazása az Újszentiván-2 mélyfúrás gránát-staurolit csillámpaláján (Algyő kiemelkedés, Dél-Alföld): Új adatok a Tiszai egység aljzatának polimetamorf fejlődéstörténetéhez. 103-114 in M. Tóth, T. ed.: Magmás és metamorf képződmények a Tiszai egységben. *GeoLitera*. Szeged.

- Ianovici, V., Borcos, M., Bleahu, M., Patrulius, D., Lupu, M., Dimitrescu, R., Savu, H., 1976. Geologia Munților Apuseni. Bucuresti**
- Kubovics, I., 1993. Kőzetmikroszkópia. Tankönyvkiadó, Budapest.**
- Pană, D., 1998. Petrogenesis and tectonics of the basement rocks of the Apuseni Mountains: significance for the Alpine tectonics of the Carpatho-Pannonian region. PhD Thesis, University of Alberta, 356p., Canada.**
- Pană, D., Balintoni, I., 2000. Igneous protoliths of the Biharia lithotectonic assemblage: timing of intrusion, geochemical considerations, tectonic setting. Studia Univ. Babes-Bolyai, Geologia, XLV, 1, 3-22, Cluj Napoca.**
- Pană, D., Heaman, L., Creaser, R., Erdmer, P., 2002. Pre-Alpine Crust in the Apuseni Mountains, Romania: Insights from Sm-Nd and U-Pb Data. The Journal of Geology 110, 341-354.**
- Pavelescu, L., Pop, G., Ailenei, G., Ene, I., Soroiu, M. and Popescu, G., 1975. K-Ar age determinations from the Apuseni and Banat Mountains. Rev. Rom. Geophys, 19, 67-79.**
- Sandulescu, M., Dimitrescu, R., 2004. Geological structure of the Romanian Carpathians. Field Trip Guide Book –B12. Florence-Italy**
- Szederkényi, T., 1984. Az Alföld kristályos aljzata és földtani kapcsolatai. MTA Doktori értekezés.**
- Wallacher, L., 1991. Magmás és Metamorf Kőzetek I-II. Tankönyvkiadó, Budapest.**

Térképek:

Gyalui-havasok turista térkép. 1:50.000.

Mellékletek

A Szamos térrénum termometriai adatai

Termométer	Litológia	Ásvány	Hőmérséklet (°C)	Módszer	Forrás
Földpát	pegmatit	káliföldpát	260 - 571	Bart, 1962	Stumbea, 2001
	pegmatit	albit	385	Bart, 1962	Stumbea, 2001
	pegmatit	káliföldpát	250 - 600	Bart, 1962	Stumbea, 2001
	pegmatit	plagiklász	320 - 440	Bart, 1962	Stumbea, 2001
	pegmatit	mikroklin	475 - 540	Bart, 1962	Murariu, 2001
	pegmatit	mikroklin	400 - 475	Seck, 1971	Murariu, 2001
	pegmatit	plagiklász	405 - 652	Barth, Orville	Murariu, 2001
Muszkovit - Paragonit	pegmatit	muszkovit	250 - 460	Eugster, Yoder, 1955	Stumbea, 2001
	pegmatit	muszkovit	250 - 485	Eugster, Yoder, 1955	Murariu, 2001
	pegmatit	muszkovit	250- 520	Guidotti et al, 1994	Murariu, 2001
Biotit (Sc tartalma)	pegmatit	biotit	510 - 640	Oftedahl, 1943	Murariu, 2001
	pegmatit	biotit	600- 650	Dagelaisky et al, 1973	Murariu, 2001
	csillámpala	biotit	595	Oftedahl, 1943	Murariu, 2001
	csillámpala	biotit	600	Dagelaisky et al, 1973	Murariu, 2001
	pegmatit	biotit	630 - 740	Oftedahl, 1943	Stumbea, 2001
	csillámpala	biotit	590	Oftedahl, 1943	Stumbea, 2001
	pegmatit	biotit	645 - 760	Dagelaisky et al, 1973	Stumbea, 2001
	csillámpala	biotit	610	Dagelaisky et al, 1973	Stumbea, 2001
Gránát-biotit	csillámpala	gránát-biotit	542 - 579	?	Kalmar, 1994
Biotit (XFe)	pegmatit	biotit	555 - 595	Wones, Eguster, 1965	Murariu, 2001
Biotit (Li)	pegmatit	biotit	540 - 610	Pomarleanu et al, 1977	Murariu, 2001
	csillámpala	biotit	650	Pomarleanu et al, 1977	Stumbea, 2001
Mackenzi diagram	pegmatit	plagiklász	490 - 600	Mackenzie, 1957	Stumbea, 2001
	pegmatit	muszkovit	>400	?	Stumbea, 2001
Q-Ab-Or rendszer	pegmatit	Q-Ab-Or	700 - 800	Luth et al, 1969	Stumbea, 2001

3. táblázat

A Szamos térrénum geokronológiai viszonyai

Módszer	Litológia	Minta	Kor (Soroiu et al, 1969) (Ma)	Kor (Pavelescu et al, 1975) (Ma)	Hely
K-Ar	Muntele Mare gránit	biotit	-	85 ± 3	Kiskalota (Călătele)
K-Ar	Muntele Mare gránit	biotit	90	-	Sebes-Kőrös völgye
K-Ar	Muntele Mare gránit	kálföldpát	80	-	Sebes-Kőrös völgye
K-Ar	Muntele Mare gránit	biotit	115	-	Beszterce(Bistrița)
K-Ar	Muntele Mare gránit	biotit	160	-	Beszterce(Bistrița)
K-Ar	Muntele Mare pegmatit	muszkovit	156	-	Sebes-Kőrös völgye
K-Ar	Muntele Mare pegmatit	muszkovit	194	-	Beszterce(Bistrița)
K-Ar	Muntele Mare pegmatit	muszkovit	232	-	Beszterce(Bistrița)
K-Ar	Csillámpala	teljes kőzet	-	227 ± 8	Valea Cosului
K-Ar	Amfibolit	hornblende	-	209 ± 6	Járavize(Valea Ierii)
K-Ar	Kvarc-földpát pala	biotit	-	79 ± 5	Járavize(Valea Ierii)
K-Ar	Gránátos csillámpala	teljes kőzet	268	-	Valea Cosului
K-Ar	Gránátos csillámpala	teljes kőzet	381	-	Valea Bulzului
K-Ar	Pegmatoid gránit	muszkovit	90	-	Colpalnic
K-Ar	Pegmatoid gránit	muszkovit	170	-	Colpalnic
K-Ar	Muntele Mare pegmatit	muszkovit	-	237 ± 6	Beszterce(Bistrița)
K-Ar	Muntele Mare pegmatit	muszkovit	-	199 ± 6	Beszterce(Bistrița)
K-Ar	Muntele Mare gránit	biotit	-	119 ± 3	Beszterce(Bistrița)

4. táblázat

A szamos terrén geokronológiai viszonyai

Módszer	Litológia	Minta	Kor (Ma)	Hely	Forrás
$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$	Muntele Mare gránit	muszkovit	191	Havasnagyfalu (Marisel)	Dellmeyer et al,1999
$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$	Retrográd plagiogneisz	muszkovit	253	Beszterce(Bistrița)	Dellmeyer et al,1999
$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$	Szericites kvarcit	muszkovit	302	Rusești	Dellmeyer et al,1999
$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$	Amfibolit	hornblende	306	Ciurtuci	Dellmeyer et al,1999
$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$	Retrográd plagiogneisz	muszkovit	313	Ciurtuci	Dellmeyer et al,1999
$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$	Amfibolit	hornblende	316	Jósikafalva (Beliș)	Dellmeyer et al,1999
$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$	Plagiogneisz	muszkovit	123	Alsójára (Iara)	Dellmeyer et al,1999
$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$	Milonitos orthogneisz	muszkovit	100	Tarnita-tó (Lago Tarnita)	Dellmeyer et al,1999
$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$	Kloritos csillámpala	muszkovit	340	Valea huzii	Dellmeyer et al,1999
$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$	Kloritos csillámpala	muszkovit	334	Valea Sălașele	Dellmeyer et al,1999
$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$	Amfibolit	hornblende	371	Alsójára (Iara)	Dellmeyer et al,1999
$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$	Amfibolit	hornblende	367	Alsójára (Iara)	Dellmeyer et al,1999
$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$	Amfibolit	hornblende	386	Dosul Neagului	Dellmeyer et al,1999
$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$	Amfibolit	hornblende	405	Dosul Neagului	Dellmeyer et al,1999
$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$	Pegmatitos gránit	muszkovit	296	Beszterce(Bistrița)	Dellmeyer et al,1999
$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$	Pegmatitos gránit	muszkovit	305	Beszterce(Bistrița)	Dellmeyer et al,1999
$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$	Pegmatitos gránit	muszkovit	326	Pojorata	Dellmeyer et al,1999
$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$	Pegmatitos gránit	muszkovit	343	Beszterce(Bistrița)	Dellmeyer et al,1999

5. táblázat.

Gránát 1

	rim							core				rim
WT%	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂	36,05	36,89	36,41	36,88	36,44	35,76	36,13	36,25	36,09	37,11	36,50	37,00
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	20,64	20,53	20,92	20,49	20,70	20,73	20,51	20,51	20,98	20,30	21,14	20,79
FeO	38,13	38,46	37,54	38,07	37,57	38,44	37,13	38,11	38,44	37,88	38,18	38,33
MnO	0,25	0,34	0,52	0,51	0,57	0,59	0,51	0,62	0,44	0,75	0,54	0,27
MgO	3,31	3,75	3,27	2,78	2,88	2,53	2,89	2,61	3,01	2,98	3,17	3,25
CaO	0,82	0,89	0,66	0,82	1,07	1,27	1,25	0,90	0,69	0,65	1,12	0,76
Na ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	99,20	100,86	99,32	99,55	99,22	99,33	98,42	99,00	99,65	99,66	100,67	100,40
Ionszámok 12 oxigénre												
Si	2,954	2,971	2,969	3,006	2,980	2,942	2,978	2,980	2,947	3,019	2,947	2,988
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Al	1,994	1,949	2,011	1,969	1,995	2,010	1,993	1,988	2,020	1,947	2,012	1,979
Fe	2,607	2,584	2,554	2,589	2,564	2,638	2,554	2,615	2,619	2,572	2,572	2,582
Mn	0,017	0,023	0,036	0,035	0,040	0,041	0,035	0,043	0,031	0,051	0,037	0,019
Mg	0,404	0,450	0,397	0,338	0,350	0,310	0,355	0,320	0,366	0,361	0,382	0,390
Ca	0,072	0,077	0,058	0,072	0,094	0,112	0,110	0,080	0,060	0,057	0,097	0,066
Alm	84,1	82,5	83,9	85,3	84,1	85,1	83,6	85,5	85,1	84,6	83,3	84,5
Prp	13,0	14,4	13	11,1	11,5	10	11,6	10,5	11,9	11,9	12,4	12,8
Sps	0,5	0,7	1,2	1,2	1,3	1,3	1,1	1,4	1	1,7	1,2	0,6
Grs	2,3	2,5	2,3	2,4	3,1	3,6	3,6	2,6	2	1,9	3,1	2,2

6. táblázat

Gránát 2

WT%	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	36,38	36,50	37,20	36,69	37,60	36,75	36,98
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	21,52	21,17	21,01	21,00	20,54	20,72	20,80
FeO	37,46	37,47	35,23	35,95	36,41	37,65	37,25
MnO	0,26	0,61	2,85	2,48	0,84	0,34	0,32
MgO	3,29	3,01	1,68	1,64	2,83	3,03	3,13
CaO	0,86	1,19	2,54	2,19	2,03	1,04	0,83
Na ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	99,77	99,95	100,51	99,95	100,23	99,53	99,31
Si	2,947	2,960	3,004	2,960	3,028	2,991	3,006
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Al	2,055	2,024	2,000	2,024	1,950	1,988	1,993
Fe	2,532	2,535	2,374	2,535	2,447	2,556	2,526
Mn	0,018	0,042	0,195	0,042	0,057	0,023	0,022
Mg	0,398	0,363	0,203	0,363	0,339	0,367	0,378
Ca	0,075	0,103	0,220	0,103	0,175	0,091	0,072
Alm	83,8	83,3	79,4	83,3	81,1	84,2	84,2
Prp	13,2	11,9	6,8	11,9	11,2	12,1	12,6
Sps	0,6	1,4	6,5	1,4	1,9	0,8	0,7
Grs	2,5	3,4	7,3	3,4	5,8	3,0	2,4

7. táblázat

Gránát 3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO ₂	36,85	36,85	36,62	36,89	37,19	36,61	36,33	36,75	36,56	37,16	37,33
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	20,66	20,95	20,59	20,87	20,39	20,79	20,98	20,85	21,07	21,59	20,45
FeO	36,57	37,33	37,68	36,99	36,23	36,98	37,41	36,68	36,71	37,92	37,44
MnO	0,38	0,42	0,26	0,73	0,75	0,89	0,77	0,65	0,39	0,25	0,05
MgO	3,47	3,36	3,36	2,62	2,68	2,47	2,12	2,62	3,02	3,26	3,46
CaO	0,93	0,85	0,61	2,03	2,04	2,31	1,97	2,10	1,19	0,83	0,83
Na ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	98,86	99,76	99,12	100,14	99,27	100,04	99,58	99,66	98,95	101,02	99,57
Si	3,004	2,984	2,990	2,986	3,026	2,97	2,968	2,986	2,982	2,971	3,02
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
Al	1,984	2,001	1,982	1,991	1,956	1,99	2,020	1,997	2,026	2,035	1,95
Fe	2,487	2,523	2,567	2,499	2,460	2,51	2,550	2,486	2,498	2,530	2,53
Mn	0,026	0,029	0,018	0,050	0,051	0,06	0,054	0,045	0,027	0,017	0,00
Mg	0,421	0,405	0,409	0,316	0,325	0,30	0,258	0,317	0,366	0,389	0,42
Ca	0,082	0,074	0,053	0,176	0,178	0,20	0,173	0,183	0,104	0,071	0,07
Alm	82,5	83,3	84,2	82,2	81,6	81,7	84,0	82,0	83,4	84,1	83,7
Prp	14,0	13,4	13,4	10,4	10,8	9,8	8,5	10,5	12,2	12,9	13,8
Sps	0,9	0,9	0,6	1,7	1,7	2,0	1,8	1,5	0,9	0,6	0,1
Grs	2,7	2,4	1,7	5,8	5,9	6,5	5,7	6,0	3,5	2,4	2,4

8. táblázat

Szinkinematikus staurolit

ásvány	staurolit	staurolit	staurolit	staurolit	staurolit	staurolit	staurolit	staurolit
kép	RT_07	RT_07	RT_07	RT_07	RT_07	RT_09	RT_09	RT_09
Spectrum	Spectrum 34	Spectrum 35	Spectrum 36	Spectrum 37	Spectrum 38	Spectrum 56	Spectrum 57	Spectrum 58
SiO2	27,05	27,55	27,37	27,20	27,02	27,40	27,31	26,88
TiO2	0,72	0,52	0,52	0,70	0,54	0,55	0,72	0,61
Al2O3	52,72	52,91	52,77	52,20	52,95	53,00	52,80	53,38
FeO	13,89	14,01	14,19	14,16	14,23	14,82	13,92	14,14
MnO	0,00	0,05	0,03	0,00	0,06	0,04	0,00	0,00
MgO	1,62	1,75	1,81	1,91	1,68	1,59	1,54	1,84
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na2O	0,30	0,15	0,32	0,39	0,22	0,11	0,21	0,09
K2O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	96,30	96,95	97,01	96,55	96,70	97,51	96,50	96,93
Ionszámok 22 oxigénre								
Si	3,658	3,697	3,679	3,675	3,644	3,671	3,682	3,613
Al	0,342	0,303	0,321	0,325	0,356	0,329	0,318	0,387
Al	8,061	8,068	8,038	7,992	8,063	8,041	8,074	8,070
Ti	0,073	0,053	0,053	0,071	0,055	0,055	0,073	0,061
Fe	1,568	1,569	1,592	1,597	1,601	1,657	1,565	1,586
Mn	0,000	0,006	0,003	0,000	0,007	0,005	0,000	0,000
Mg	0,325	0,351	0,362	0,384	0,337	0,317	0,309	0,368
Ca	0,000	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000
Na	0,079	0,039	0,082	0,102	0,058	0,029	0,056	0,022

9. táblázat

Posztkinematikus staurolit

ásvány	staurolit	staurolit	staurolit	staurolit	staurolit	staurolit	staurolit	staurolit	staurolit	staurolit	staurolit
kép	RT 20	RT 20	RT 20	RT 20	RT 20	RT 20	RT 20	RT 23	RT 23	RT 23	RT 23
Spectrum	Spectrum 1	Spectrum 2	Spectrum 3	Spectrum 4	Spectrum 5	Spectrum 6	Spectrum 7	Spectrum 15	Spectrum 16	Spectrum 17	Spectrum 18
SiO ₂	28,32	27,76	27,74	27,60	27,34	27,64	27,27	27,46	27,14	27,86	27,49
TiO ₂	0,76	0,85	0,57	0,54	0,68	0,88	0,65	0,60	0,66	0,89	0,71
Al ₂ O ₃	53,52	52,70	53,89	52,61	53,61	53,88	53,80	52,82	53,40	53,13	54,16
FeO	14,24	14,66	14,55	14,48	14,32	13,96	14,54	14,14	14,14	15,43	13,56
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	1,78	1,21	1,95	1,63	1,96	1,82	1,70	1,79	1,71	1,81	1,40
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	98,61	97,18	98,69	96,87	97,92	98,19	97,96	96,80	97,05	99,12	97,32
Ionszámok 46 oxigénre											
Si	7,803	7,784	7,655	7,763	7,605	7,648	7,587	7,717	7,611	7,694	7,653
Al	17,384	17,424	17,533	17,443	17,579	17,576	17,649	17,499	17,651	17,296	17,776
Ti	0,157	0,179	0,117	0,115	0,143	0,182	0,135	0,126	0,139	0,184	0,148
Fe	3,275	3,430	3,352	3,399	3,322	3,224	3,377	3,316	3,308	3,554	3,151
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,729	0,507	0,803	0,682	0,814	0,750	0,705	0,748	0,715	0,744	0,582
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

10. táblázat

Biotit

SiO ₂	34,91	36,33	34,51	35,01	36,31	35,65	35,61	36,05	36,33	35,89	36,27	35,98	36,18
TiO ₂	1,28	1,30	1,54	1,34	0,22	0,33	0,39	1,68	1,51	1,47	1,74	1,44	1,93
Al ₂ O ₃	18,94	19,43	19,08	18,72	19,70	20,30	20,66	19,11	18,72	18,86	19,08	19,89	19,11
FeO	19,12	18,27	18,19	18,69	18,53	18,63	18,98	18,67	18,49	17,79	17,52	17,73	17,95
MnO	0,00	0,15	0,00	0,13	0,00	0,12	0,11	0,01	0,03	0,00	0,21	0,22	0,00
MgO	9,16	10,46	9,31	9,73	9,53	9,46	8,94	10,66	10,23	10,60	10,38	10,04	10,22
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	0,37	0,38	0,64	0,47	0,58	0,61	0,64	0,47	0,43	0,41	0,47	0,37	0,41
K ₂ O	7,15	7,91	7,12	7,38	8,03	6,58	7,74	7,63	7,53	7,22	7,45	7,10	6,91
Total	90,93	94,23	90,37	91,47	92,89	91,68	93,08	94,29	93,29	92,25	93,12	92,78	92,71
Ionszámok 22 oxigénre													
Si	5,495	5,499	5,451	5,482	5,581	5,514	5,472	5,462	5,551	5,521	5,528	5,492	5,525
Al(iv)	2,505	2,501	2,549	2,518	2,419	2,486	2,528	2,538	2,449	2,479	2,472	2,508	2,475
Al(vi)	1,010	0,966	1,004	0,937	1,151	1,217	1,215	0,875	0,924	0,943	0,956	1,071	0,965
Ti	0,152	0,147	0,183	0,158	0,025	0,038	0,045	0,192	0,174	0,170	0,199	0,166	0,221
Fe	2,511	2,308	2,397	2,442	2,377	2,405	2,435	2,360	2,358	2,284	2,228	2,258	2,287
Mn	0,000	0,019	0,000	0,017	0,000	0,016	0,015	0,002	0,005	0,000	0,027	0,028	0,000
Mg	2,149	2,360	2,190	2,270	2,182	2,180	2,047	2,406	2,329	2,430	2,356	2,283	2,325
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	0,112	0,113	0,196	0,142	0,172	0,184	0,191	0,137	0,129	0,123	0,137	0,111	0,122
K	1,435	1,528	1,434	1,474	1,575	1,299	1,518	1,474	1,469	1,418	1,450	1,383	1,347

11. táblázat

Muszkovit

ásvány	muszkovit	muszkovit	muszkovit	muszkovit	muszkovit	muszkovit	muszkovit	muszkovit	muszkovit	muszkovit	muszkovit	muszkovit
kép	RT_04	RT_04	RT_04	RT_06	RT_06	RT_07	RT_07	RT_08	RT_08	RT_08	RT_09	RT_09
SiO ₂	45,51	45,77	45,50	46,29	44,90	46,31	46,67	45,31	45,66	45,30	46,59	45,65
TiO ₂	0,57	0,41	0,44	0,20	0,19	0,55	0,12	0,30	0,28	0,22	0,29	0,10
Al ₂ O ₃	35,92	35,48	35,07	35,87	35,89	36,21	34,88	36,04	35,58	34,53	35,71	35,92
FeO	1,10	0,67	0,88	1,25	1,32	0,90	0,86	0,64	0,84	0,77	0,68	0,81
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,14	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
MgO	0,56	0,49	0,50	0,46	0,52	0,56	0,76	0,40	0,65	0,60	0,68	0,56
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	2,43	1,84	2,28	2,26	2,11	2,29	2,12	2,81	2,44	2,10	2,45	2,20
K ₂ O	7,99	8,26	7,71	8,46	7,67	8,14	7,56	7,93	8,05	7,92	7,79	8,14
Total	94,07	92,93	92,39	94,79	92,75	95,09	92,97	93,43	93,51	91,44	94,19	93,38
Ionszámok 22 oxigénre												
Si	6,083	6,168	6,168	6,149	6,079	6,116	6,263	6,089	6,132	6,205	6,187	6,131
Al(IV)	1,917	1,832	1,832	1,851	1,921	1,884	1,737	1,911	1,868	1,795	1,813	1,869
Al(VI)	3,743	3,805	3,772	3,766	3,808	3,753	3,782	3,798	3,764	3,781	3,776	3,818
Ti	0,058	0,042	0,045	0,020	0,020	0,054	0,012	0,030	0,029	0,023	0,029	0,010
Fe	0,123	0,075	0,100	0,139	0,149	0,099	0,096	0,072	0,094	0,088	0,075	0,091
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,016	0,015	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Mg	0,112	0,098	0,101	0,090	0,105	0,110	0,153	0,080	0,130	0,122	0,134	0,112
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	0,628	0,481	0,599	0,582	0,553	0,586	0,551	0,732	0,634	0,556	0,630	0,573
K	1,362	1,420	1,334	1,434	1,325	1,372	1,294	1,360	1,380	1,384	1,319	1,395

12. táblázat