

SZUBMIKROMÉTERES LÉPTÉKŰ MEGFIGYELÉSEK AZ ÓBRENBERGI CSILLÁMPALÁBAN — HÁROM TEKTONIKAI CIKLUS ELKÜLÖNÍTÉSE

Dégi Júlia¹, Török Kálmán¹, Ralf Schuster²

¹ Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, Budapest

¹ Ausztriai Geológiai Szolgálat, Bécs

e-mail: julia.degi@gmail.com

1. Bevezetés

A polimetamorfózist szenvedett Óbrennbergi Csillámpala fő kőzetalkotó fázisai andaluzit, sillimanit, biotit, plagioklász, kálicföldpát és kvarc, amelyek mellett kisebb mennyiségben megjelenhet staurolit, gránát, muszkovit, spinell, korund, ilmenit, rutil, turmalin, monacit és apatit is. Az eredeti üledékes kőzet kémiai heterogenitásának megfelelően a kőzet doménekből épül fel, melyek jól megőrződött több generációs ásványgyűtéseket tartalmaznak. Ezek nagy jelentőséggel bírnak a Sopron környéki kristályos aljzat metamorf fejlődéstörténetének, valamint az Alpokhoz való viszonyának meghatározásában. Annak ellenére, hogy a hetvenes évektől 2003-ig számos tanulmány foglalkozott a témával, több kérdés a mai napig megválaszolatlan maradt. Nem pontosan ismertek a pre-alpi és alpi metamorf fázisban lezajlott ásványreakciók és azok egymáshoz való viszonya valamint nagy a metamorf korok bizonytalansága. ~~Ebből adódóan erősen vitatott a kőzet korrelációja ausztrálalpi analógokkal.~~ Ebben a tanulmányban a korábbi megfigyeléseket szubmikrométeres léptékű petrográfiai és ásványkémiai elemzéssel, radiometrikus kormeghatározással és termodinamikai modellezéssel kiegészítve igyekszünk elkülöníteni a különböző tektonikai ciklusokban lezajlott folyamatokat.

2. Eredmények diszkussziója

Az Óbrennbergi Csillámpala három fő mikroszerkezeti doménjében található pre-alpi relikumok: gránát porfiroblasztokban, andaluzit porfiroblasztokban és plagioklász-kálicföldpát-biotit-sillimanit-gazdag rétegekben.

2.1. Gránát porfiroblasztok

Gránátok általában ritkán és nagyon lokálisan találhatóak a kőzetben, jellemzően a kevésbé kvarc- és andaluzit-gazdag részeken. Ezekben a doméneken több milliméteres, gyakran szabálytalan alakú gránát porfiroblasztok jelennek meg biotit, kvarc, plagioklász és/vagy muszkovit alkotta mátrixban. A porfiroblasztok kémiai összetételük és zárvaik alapján több zónára oszthatók (1. ábra).

2.1.1. Kémiai zónásság

A zárva mentes, Ca-gazdag magtól (Gr_t M) kifelé haladva biotit zárvaokat tartalmazó Fe-dúsabb zóna (Gr_t Z1) helyezkedik el, amelyben a Fe-tartalom növekedésével párhuzamosan kifelé csökken a Ca- és Mn-tartalom. Erre növekszik egy Mn-gazdag zóna (Gr_t Z2), ahol a Mn-tartalom növekedésével mind a Fe- és Ca-tartalom is csökken. Nagy felbontású elemterképezés alapján biotit szemcsék mellett ez a zóna a gránát szemcse szélétől néhány

mikrométer távolságban ér véget, ahol a Fe-tartalom újra emelkedni, míg a Mn-tartalom csökkenni kezd (Gr_t Z3). A két zóna határát gyakran a szemcsehatárral párhuzamos ilmenit zárva nyors rajzolja ki.

2.1.2 Radiometrikus kormeghatározás

A gránát porfiroblasztok zárva mentes magjait a porított kőzet átlagminták 0,125–0,250 mm-es frakciójából mágneses szeparálással majd sztereomikroszkóp alatt történő gondos kézi válogatással szeparáltuk el. A szeparátumokból savas oldás után Sm-Nd kormeghatározást végeztünk a Bécsi Egyetemen.

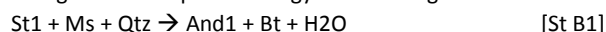
A három pontos izokron korok alapján a pre-alpi gránát magok 330±3 millió évvel ezelőtt képződtek. A kapott eredmény jó összhangban van a korábban a Stájer-medencében mért gránát (321±2 Ma) és monacit (320–330 Ma) korokkal, illetve az Óbrennbergi Csillámpala biotit és fehér csillám frakciójából mért K/Ar korokkal (320–329 Ma; Balogh, Dunkl, 2005), melyek a variszki tektonometamorf eseményt datálják.

2.2. Andaluzit porfiroblasztok

A kőzet jelentős részét adó andaluzit szemcsék általában több centiméteres, megnyúlt porfiroblasztokban jelennek meg, melyek két típusra oszthatók. Az idősebb (And1) generáció gyakran deformált és zárva gazdag, míg a gyakran erre növekedő vagy önállóan megjelenő And2 generáció deformálatlan és zárva szegény. Biotit mindkét andaluzit generációban előfordul zárva ként, de az And1 generációban ezen felül található sajátalakú sillimanit (Sil1) zárva nyors valamint staurolit relikumok, melyek több generációs fejlődést mutatnak.

2.2.1. Staurolit bomlási és képződési reakciók

Az And1 porfiroblasztokban jól megőrződött, szabálytalan alakú staurolit relikumok (St1) akár néhány mm-es méretet is elérhetnek és leggyakrabban biotit zárva nyorsokkal együtt jelennek meg. Eszerint az And1 generáció képződése nagy általánosságban a

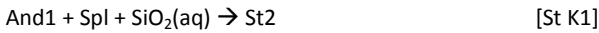


reakcióhoz köthető. A staurolit relikumok közvetlen közelében vagy azzal érintkezésben gyakran figyelhetünk meg több tíz mikrométeres spinell és korund zárva nyorsokat, ami szintén a St1 bomlásával magyarázható lokális SiO₂-mentes környezetben:



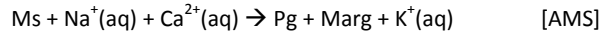
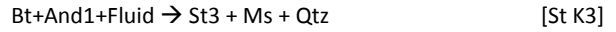
A spinell és korund zárva nyors szélén növekedő új, néhány mikrométeres, léces megjelenésű staurolit (St2) kristályok, valamint a nagy staurolit relikumok szegélyétől néhány tíz mikrométer távolságban megfigyelhető szubmikrométeres spinell zárva nyors (2.a

ábra) arra utalnak, hogy egy később beszivárgó SiO₂-gazdag fluidum hatására az [St B2] reakció iránya megfordult:

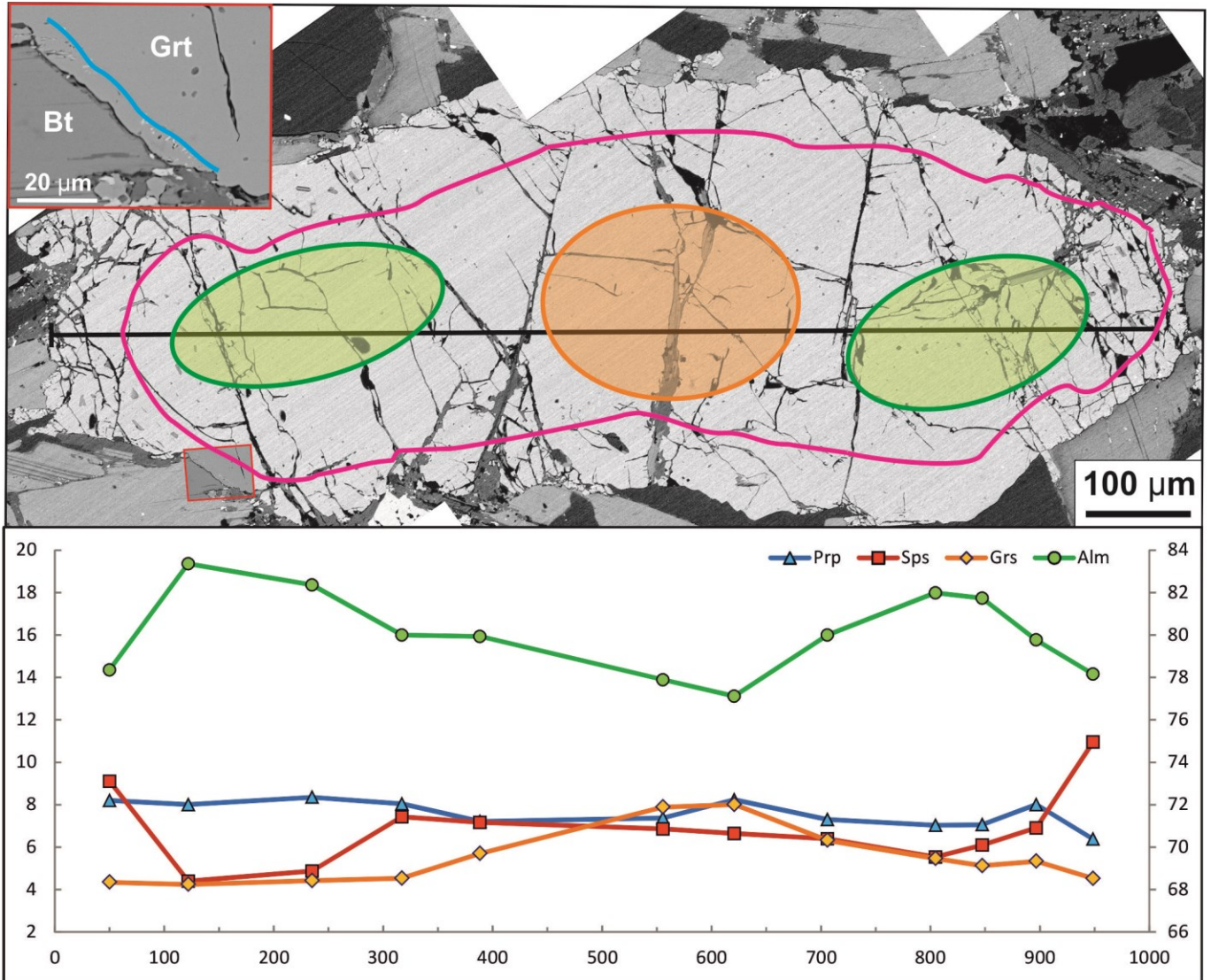


A léces kifejlődésű St2 staurolit szemcsék továbbnövekedéseiben (St3) nagy számú szubmikrométeres kvarc zárvány található, emiatt jellegzetesen szivacsos megjelenésű. Helyenként a kvarc zárványok mellett változatos összetételű fehér csillám (Ms-Pg-Marg) zárványok is megfigyelhetők. Az St3 kristályok és a befogadó And1 között gyakran húzódik 0,2-1 mikrométer széles kvarc sáv, ami helyenként fehér csillám reliktumokat ölel körül (2.b ábra). Ezek a

szöveti bélyegek a biotit és andaluzit közötti prograd reakcióra utalnak, míg a fehér csillám zárványok változatos alkália tartalma kései metasomatikus reakció eredménye lehet:



Az [St K3] reakció megfigyelhető az And1 porfiroblasztok biotit zárványai körül is. Az itt képződött staurolit Zn-tartalma jóval alacsonyabb, mint az St1 és St2 generációban megjelenőké.



1. ábra Pre-alpi gránát porfiroblaszt visszaszórt elektronképe és kémiai zónássága. A Grt M, Z1 és Z2 összetételei zónák határát narancs, zöld és magenta kontúrok jelzik. A kép bal felső sarkában a pirossal jelölt képrészlet szerepel kinagyítva, rajta a legkülső Grt Z3 zóna határa kék kontúrral. b) A fekete profil mentén mért gránát összetételek. (bal tengely: Prp-, Sps- és Grs-, jobb-tengely: Alm-tartalom %-ban megadva)

2.3. Plagioklász-káliföldpát-biotit-sillimanit domének

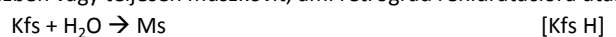
A kőzet legnagyobb tömegét ez a domén típus adja. Leggyakoribb fázisai nagy Ti-tartalmú biotit és plagioklász, melyek gyakran körülveszik a gránát és andaluzit porfiroblasztokat. A fiatalabb And2 porfiroblasztokban a nagy Ti-tartalmú biotit zárványként is előfordul. A kisebb mennyiségben megjelenő sillimanit jellemzően szálas kifejlődésű és gyakran összenövést alkot káliföldpáttal vagy csillámokkal. Kisebb mennyiségben legfeljebb néhány száz mikrométeres, zónás gránátok is előfordulnak a doménben. A domén különböző ásványai változatos átalakulásokat mutatnak.

2.3.1. Földpát mikroszerkezetek és reakciók

A káliföldpát jellegzetesen sillimanittal alkot összenövést, ezért a hőmérséklet emelkedés során bekövetkező szilárd fázisú reakcióból származtatjuk:



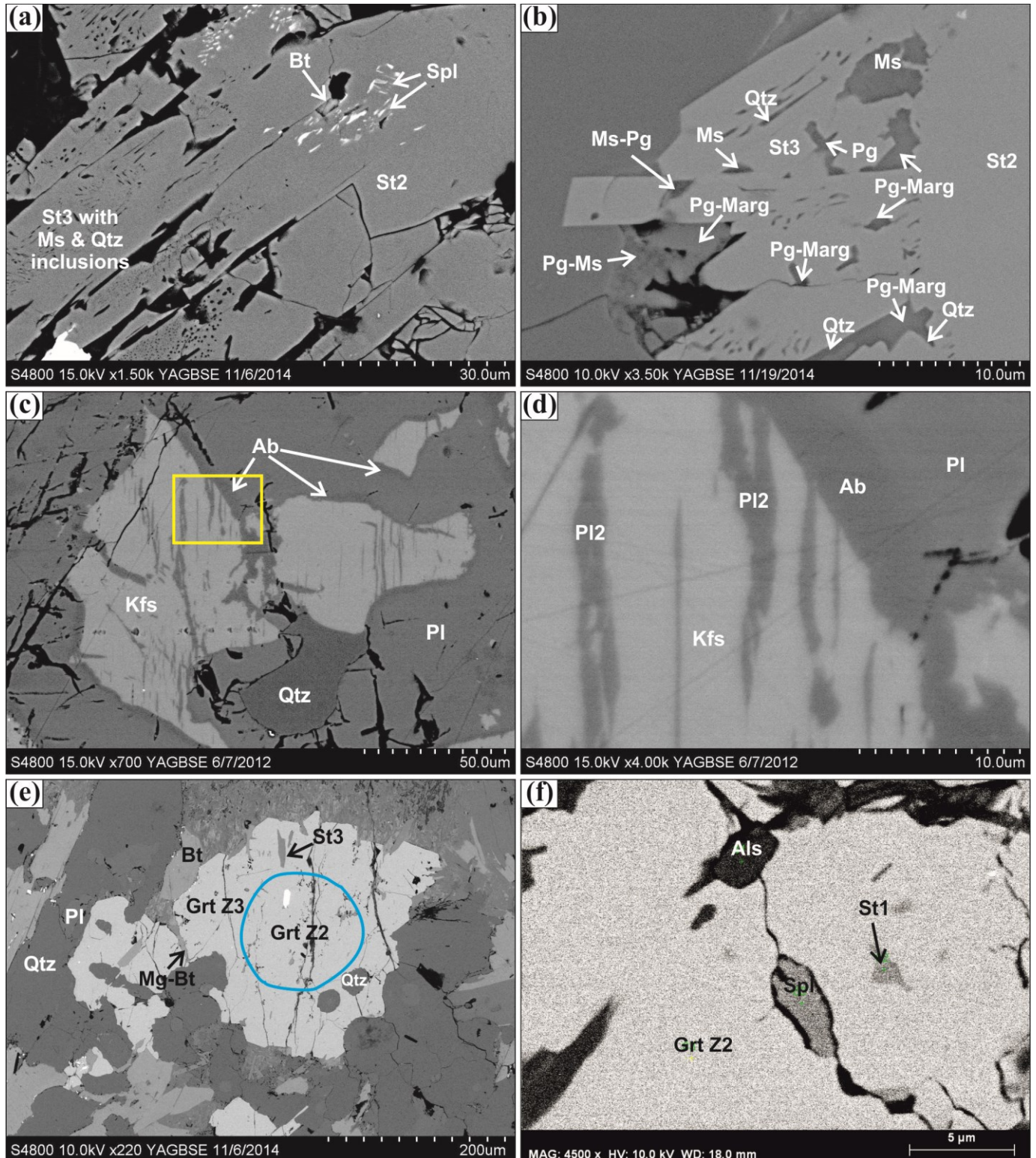
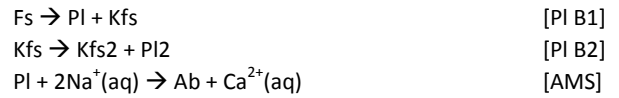
Ezekben a mikroszerkezetekben a káliföldpátot gyakran helyettesíti részben vagy teljesen muszkovit, ami retrograd rehidratációra utal:



Az akár centiméteres átmérőt elérő plagioklász szemcsék gyakran antiperitites fázisváltást mutatnak (2.c ábra). A zárványokként megjelenő, akár 100 mikrométer szélességet is elérő káliföldpát

szemcséken belül néhány mikrométer széles albit-gazdag lamellák figyelhetők meg. Ezen felül a befogadó plagioklász és a belőle szételegyedett kálicföldpát érintkezésénél a plagioklászban belül kimutatható egy 1-4 mikrométer széles tiszta albit zóna, mely a plagioklász felé diffúz határokkal bír (2.d ábra).

Ezek alapján két hülés során bekövetkező és egy metasztatikus földpát reakció különíthető el:



2. ábra a) And1 porfirblasztban található staurolit reliktum egymást követő növekedési zónái. b) Kései metasztatikus átalakulást szenvedett csillám zárványok az St3 staurolit generációban. c-d) Pertites fáziszétválás és tiszta albit korona antipertitben a Pl-Kfs-Sill-Bt doménben. e) Pre-alpi Mn-dús maggal (kék kontúron belül) rendelkező alpi gránát a a Pl-Kfs-Sill-Bt doménben. f) Zn-tartalmú spinell és staurolit zárványok alpi gránát pre-alpi Mn-dús magjában.

2.3.2. Nagy Ti-tartalmú biotit és reakciói

A nagy Ti-tartalmú biotit gyakran jellegzetes összenövést mutat sillimanittal és több metamorf reakcióban is részt vesz. A szemcsék

repedései és szélei mentén nagy számban jelennek meg ilmenit zárványok, ami hüllési reakcióra utal:



A nagy biotit szemcsék szélein gyakran gránát továbbnövekedés figyelhető meg. Nagy felbontású vizsgálatokkal ezekben az új gránátokban szubmikrométeres fluidum, kvarc és néhol ilmenit zárványokat is azonosítottunk, ami a lenti reakcióra utal:



Ezen felül sok helyen megfigyelhető muszkovitosodás, ami akár az egész szemcsét felemésztí:



A reakció során képződő Bt2 biotit generáció kis Ti-tartalommal és nagyobb mg#-mal jellemezhető. Kései, szubmikrométeres léptékű reakcióban a biotit-sillimanit együttesek pirofillit-muszkovit összenövésékké alakulnak:

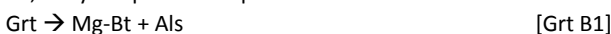


2.2.3. Gránát generációk

A plagioklász-káliföldpát-sillimanit-biotit doménekben megjelenő önálló gránát szemcsék ritkán érik el a néhány száz mikrométeres átmérőt és jellegzetes zónásságot mutatnak (2.e ábra). Mn-gazdag magra, Fe- és Ca-gazdag szegély nő. Összetétele alapján a Mn-gazdag mag a pre-alpi gránát porfiroblasztok Mn-gazdag Grt Z2 zónájának felel meg. Ezen magban szubmikrométeres zárványként megjelenhet az St1 vagy St2 staurolit generációnak megfelelő Zn-gazdag staurolit, spinell és aluminoszilikát (2.f ábra), ami az alábbi gránát képződési reakcióra utal:



A Fe-gazdag gránát szegélyében Zn-mentes staurolit és biotit zárványok találhatóak. A biotittal érintkező külső gránát zónák néhány mikrométeres repedései mentén a gránát rovására szubmikronos méretű Mg-gazdag biotit képződik, aluminoszilikáttal együtt, mely a repedés közepén húzódik:



3. Metamorf fejlődéstörténet

A megfigyelt ásványreakciók, kémiai zónásságok és a radiometrikus kormeghatározás eredményei alapján az Óbrennbergi Csillámpalában három tektonikai ciklus eseményei különíthetők el (3. ábra).

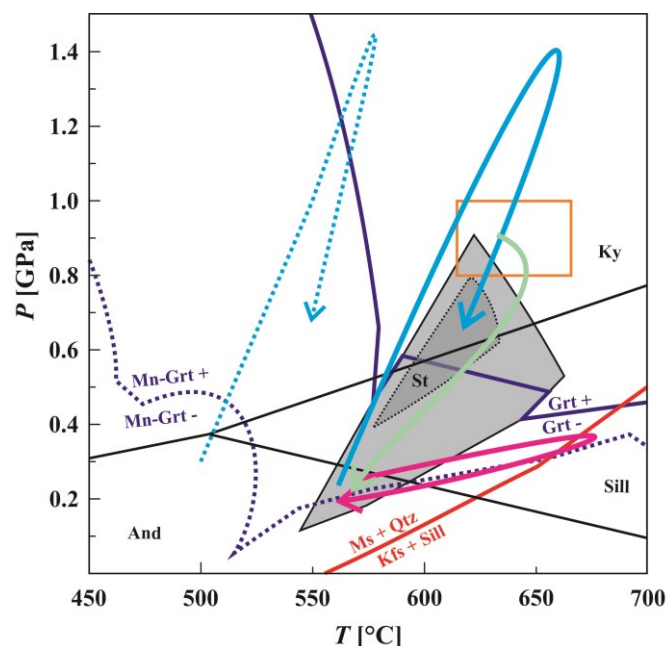
A kőzet legidősebb megőrződött ásványtársulása 330 millió évvel ezelőtti variszkuszi tektonikai ciklus nyomás maximumán képződött Ca-gazdag gránát mag, ami sillimanittal és feltehetőleg muszkovit átalakulása során képződött staurolittal volt egyensúlyban (0,8–1,0 GPa, 610–660°C, Török, 1999). A Grt Z2 gránát zóna folyamatosan növekvő Fe-tartalma arra utal, hogy a nyomáscsúcsot időben kissé eltolva követte a hőmérsékleti maximum. Az idősebb andaluzit generáció képződése -az [St B1] és **a lokálisan kvarc-szegény területeken az**-[St B2] reakcióban 0,3 GPa alatt, 550°C körüli hőmérsékleten a variszkuszi ciklus retrográd ágához köthető.

A permotriász magas hőmérsékletű esemény (Balogh, Dunkl, 2005) hőmérsékleti maximumán (kb. 670°C Török, 1999) nagy Ti-tartalmú biotit, muszkovitból képződött káliföldpát-sillimanit összenövés, a Grt Z2 zónának megfelelő Mn-gazdag gránát valamint terner földpátok jelentek meg, valószínűleg olvadékképződés mellett. A gránát nagy Mn-tartalma arra utal, hogy jelentős nyomás növekedés nem játszódott le ebben a ciklusban (Tinkham, 2001). A permotriász retrográd ágban rehidratációs reakciók (muszkovit és staurolit képződése) és a terner földpátok hűlés során történt fázisátváltása következett be. Ekkor képződött a kőzet nagy tömegét adó, deformálatlan,

zárványszegény And2 andaluzit generáció is és **feltehetően** megkezdőd~~ö~~**hetett** az ilmenit kiválása a nagy Ti-tartalmú biotitokból [Bt B1].

Az alpi tektonikai ciklus kezdetén újabb gránát növekedés indult a [Bt B1] reakció szerint biotit rovására, ami a Grt Z3 zónának felel meg. Ezzel párhuzamosan az andaluzit profiroblasztokon belül a biotit staurolittá alakult az [St K3] reakció szerint. Nagy arányú muszkovit képződés feltehetően ehhez a fázishoz köthető. A csúcsmetamorf ásványegyüttesben gránát, biotit és staurolit tartott egyensúlyt. Ennek alapján a hőmérséklet maximum a Ky-St-Ctd-Grt csillámpalákra meghatározott alpi hőmérsékleteknél (Török, 2003) 50–100°C-al magasabbnak adódik.

Szubmikrométeres skálán, több az alpi retrográd ágban lezajlott reakció is elkülöníthető. Ilyen a gránát visszaalakulása biotittá feltehetően nagy Al-tartalmú fluidum hatására [Grt B1], a különböző doménekben megfigyelhető alkáli metasomatózishoz köthető reakciók [AMS] valamint a biotit-sillimanit összenövésék átalakulása muszkovit-pirofillit együttesé [Bt B4].



3. ábra Az Óbrennbergi Csillámpala metamorf fejlődése a variszkuszi (zöld nyíl), a permotriász (rózsaszín nyíl) és az alpi (kék folytonos nyíl) tektonikai ciklusban. Sárga téglalap: variszti csúcsmetamorf körülmények Török (1999) alapján, kék szaggatott nyíl: Ky-St-Ctd-Grt csillámpalák alpi metamorf fejlődéstörténete (Török, 2003). A folytonos és szaggatott vonallal határolt ásvány stabilitási mezőket a KFMASH és az MnNCKFMASH rendszerben Tinkham et al. (2001) alapján tüntettük fel.

4. Köszönetnyilvánítás

A kutatás az OTKA PD 104692 sz. poszt doktori kutatási pályázat és a Dégi Júlia számára megítélt Bolyai János Kutatói Ösztöndíj támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- Balogh, K., Dunkl, I., (2005): Mineral. Petrol., 83(3-4), 191-218.
 Tinkham, D.K., et al. (2001): Geol. Materials Res., 3(1), 1-42.
 Török, K. (1999): Acta Geol. Hung., 42: 127–160.
 Török, K. (2003): Neues Jahrb. Für. Mineral. Abh., 179(2): 101-142.