Kirándulásvezető

A SOPRONI-HEGYSÉG METAMORF KŐZETEI ÉS FEJLŐDÉSTÖRTÉNETE

Török Kálmán[1],

[1] Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, Budapest Columbus utca 17–23.
e-mail: torok.kalman@mbfsz.gov.hu

Bevezetés

A Sopron környékén kibukkanó metamorf kőzetek (ortogneisz és különféle csillámpala változatok, valamint leukofillit; 1. ábra) az Alsó-Kelet-Alpi-egység Durvagneisz sorozatába (Grobgneiss) tartoznak, bár Draganits (1998) csak az ortogneiszeket és a gránátos klorit-muszkovit-kvarcpalákat (Vöröshídi Csillámpala) sorolja ebbe az egységbe. A Brennbergbánya körüli csillámpalákat (sillimanit-andaluzit-biotitpala, valamint kianit-staurolit-gránát-csillámpala, kianit-kloritoid-csillámpala) és a gneisztelereket (Óbrennberg – Kaltes Bründl sorozat) a Koralpe Strahlegger gneiszével mutatott rokonsága alapján, a Középső-Kelet-Alpi-egységbe teszi.

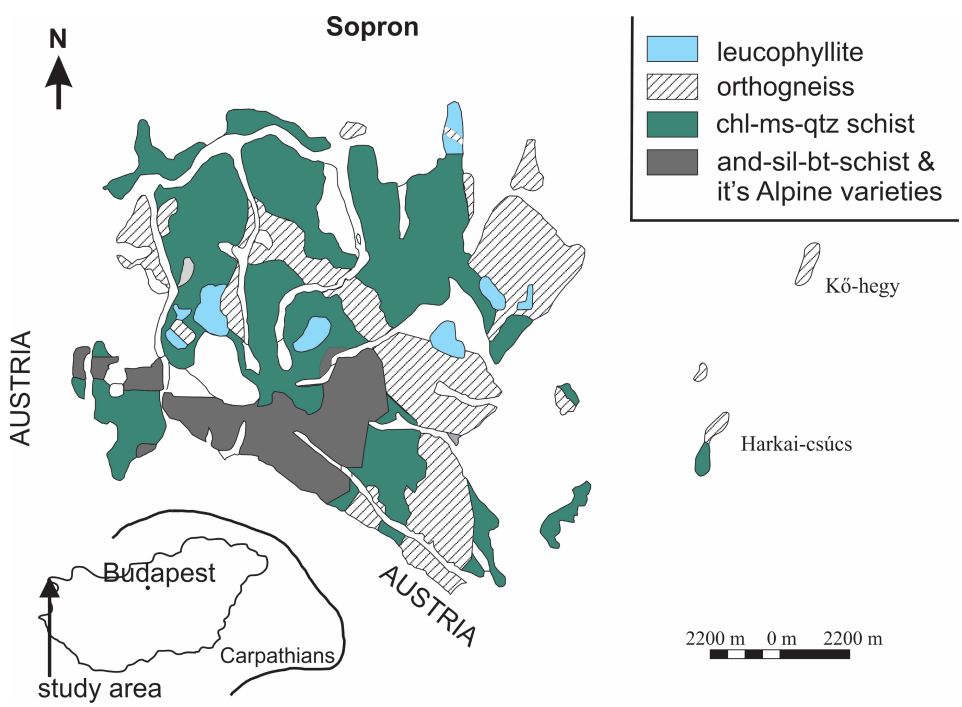
Az Óbrennberg környékén található csillámpalák metamorf történetükben különböznek a hegység többi, metamorf kőzetétől, mert csak itt mutatható ki, hogy a kőzetek fejlődésük során többfázisú metamorfózison (polimetamorfózison) estek át. A többi kőzetben kizárólag csak az alpi metamorfózis és metaszomatózis nyomait láthatjuk.

Amfibolit felszínen csak az ausztriai részen található (Draganits, 1998), a magyarországi részen eddig csak mélyfúrásból került elő. Az Alsó-Kelet-Alpi-egység egyik speciális, nyírási zónákban megjelenő kőzete a leukofillit azonban a Soproni-hegységben is számos feltárásban tanulmányozható.

Kőzettípusok és metamorf fejlődéstörténetük

Gneiszek

A gneiszek legfontosabb kőzetalkotó ásványai a kvarc, albit, káliföldpát és a fehér csillám. Akcesszóriaként biotit, gránát, klinozoizit, epidot, klorit,



1. ábra – A Soproni-hegység metamorf kőzeteinek elterjedése

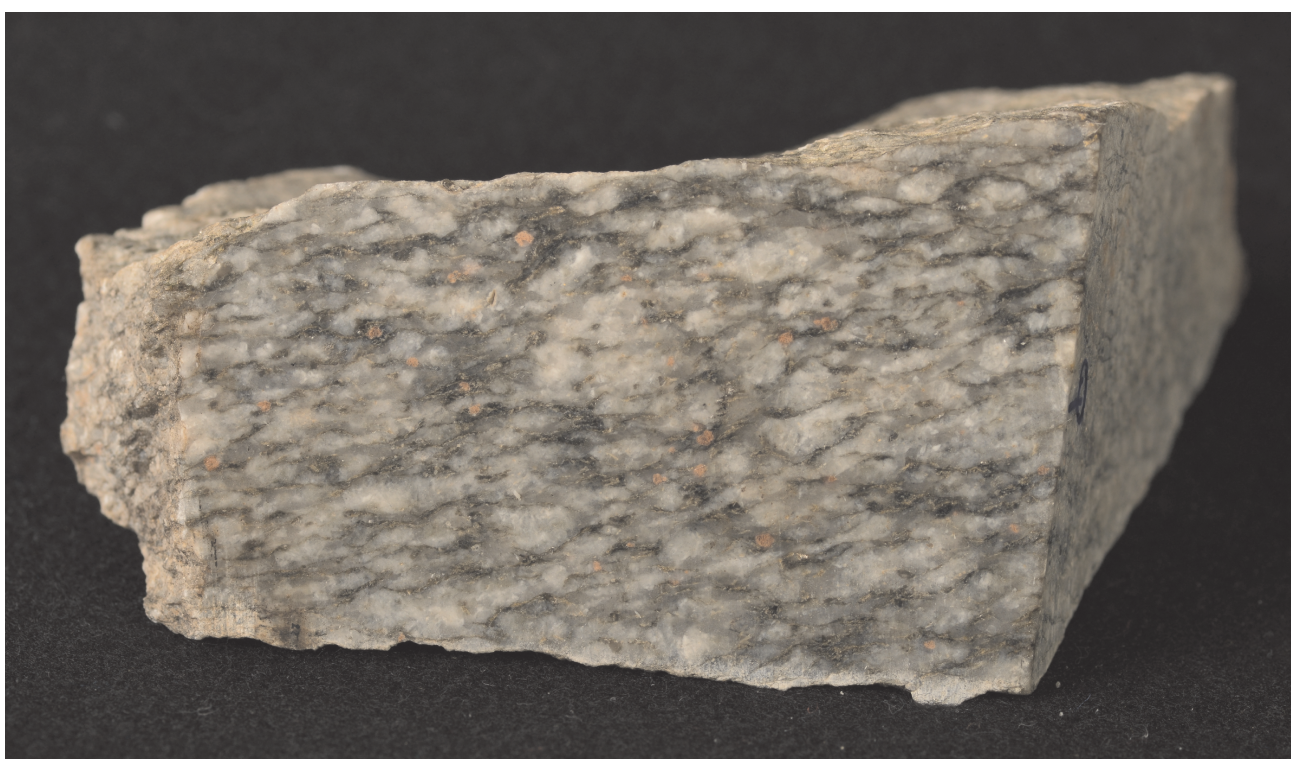
ilmenit, rutil, monacit, cirkon és apatit fordulnak elő. A hegység legelterjedtebb kőzetével, a gránátos klorit-muszkovitpalával magmás kontaktusban van, ami legjobban a Gloriette kilátó alatt levő kis kőfejtőben figyelhető meg. Több helyen találhatunk a gneiszben csillámpalazárványokat is (pl. Harkai-csúcs, Vári-kőfejtő). A gneiszet helyenként leukofillitesedett tektonikus zónák vágják át, melyek legjobban a Nándormagaslati-kőfejtő tetején, és a Lőtéren a Vas-hegy oldalában figyelhetők meg. Ritkán turmalintartalmú, durvaszemcsés változat is előfordul, mely berillt is tartalmaz. Ezt a változatot a magmás fázis utáni nagy hőmérsékletű B-Be-tartalmú hidrotermás tevékenység nyomának tartja Spránitz et al. (2018).

Szerkezetük szerint a gneiszek két alapvető típusra oszthatók, melyek ásványos összetételben nem különböznek egymástól:

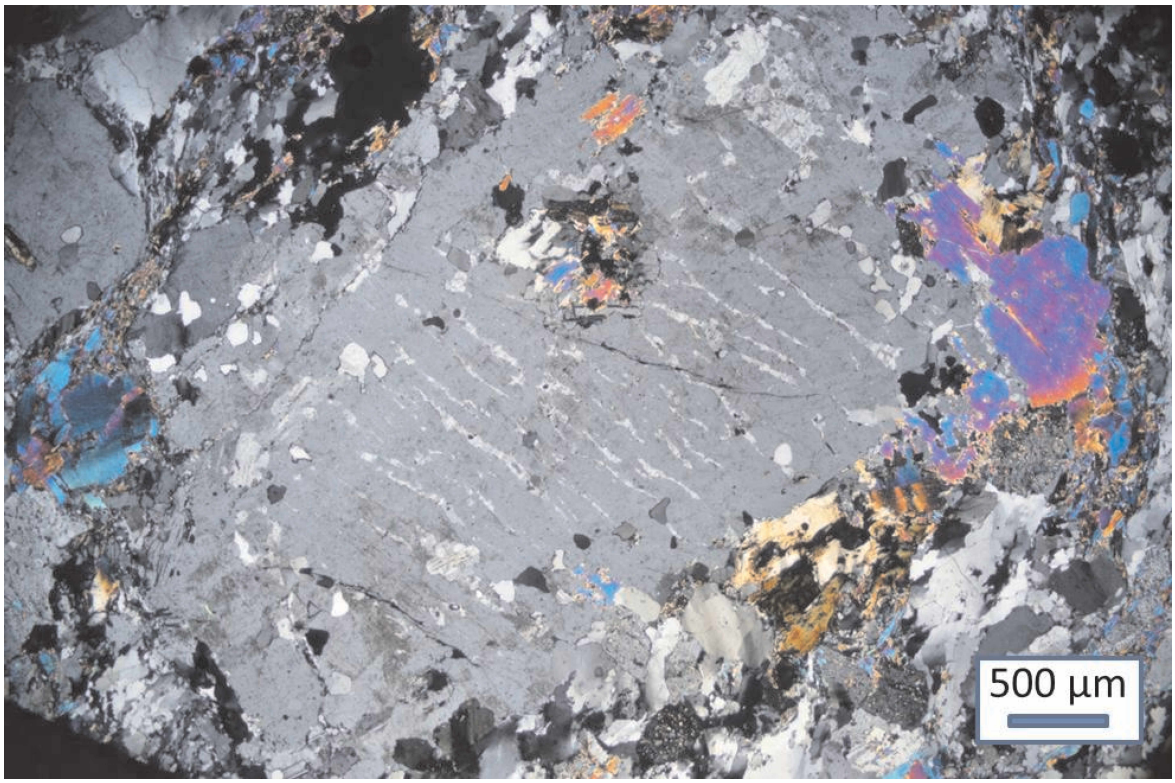
– Metagranitoidok. Ezek szövete még őrzi az eredeti magmás bélyegeket, irányítottság nem, vagy csak nagyon kis mértékben figyelhető meg. Ilyen metagranitoid található például a Vári-kőfejtőben és a Harkai-kúpon.

– Gneiszek, milonitosodott gneiszek (2. ábra). A magmás szöveti jellegek már elmosódtak, a kőzeteken erős irányítottság figyelhető meg, ami akár a milonitig is elmegy. Ilyen esetekben a kőzetalkotó ásványok unduláló kioltásúak, töredezettek, gyakori a felaprózódás és alszemcseképződés. A csillámok kinkesek, gyűrtek. Ilyen kőzetek jellegzetesek a Kő-hegyen és a Haraszt-lejtő feltárásában (Rókaházi Gneisz; Kisházi és Ivancsics, 1989). A milonitosodott gneiszekben szöveti elemzés alapján két fehér-csillám-generációt különíthetünk el. Az idősebb, durvább szemcsés (esetenként az 1 mm-t is elérheti) fehér csillámot a palásság körbeveszi, mintegy becsomagolja. Ez a generáció általában sokkal deformáltabb, mint a fiatalabb, kisebb szemcsékből álló fehércsillám-generáció, ami a palássági irányok szerint orientáltan helyezkedik el, vagy pedig az albit-porfiroblasztok magjában található, esetenként apró idioblasztos gránáttal, biotittal, zoizittel és kétfázisú folyadékzárványokkal együtt. Az albit-porfiroblasztok szegélye zárványmentes.

Mind a fent leírt szöveti bélyegek, mind pedig az ásványkémiai elemzések arra mutattak, hogy az ortogneiszek relikt, magmás ásványokat is megőriztek, és a metamorfózis során új ásványok is képződtek. A gneiszek eredeti magmás ásványai a zónás almandinban és spessartinban gazdag gránát ($Alm_{34,2-72,8}Sps_{17,1-57,4}Prp_{3,5-9,5}Grs_{0-5,36}Adr_{0-1,98}$), a kis Si- és viszonylag magas Ti-tartalmú muszkovit, annitkomponensben gazdag, rutilkiválásokat tartalmazó vagy nagy Ti-tartalmú biotit és pertites káliföldpát (3. ábra). A megőrződött magmás reliktumok és az elérhető kémiai adatok (Lelkes-Felvári et al., 1984; Kisházi és Ivancsics, 1989; Draganits, 1998; Török, 2001) alapján a gneiszek kiinduló kőzete peralumíniumos gránáttartalmú kétcsillámú leukogránit lehetett. A magmás gránátok Mn-tartal-



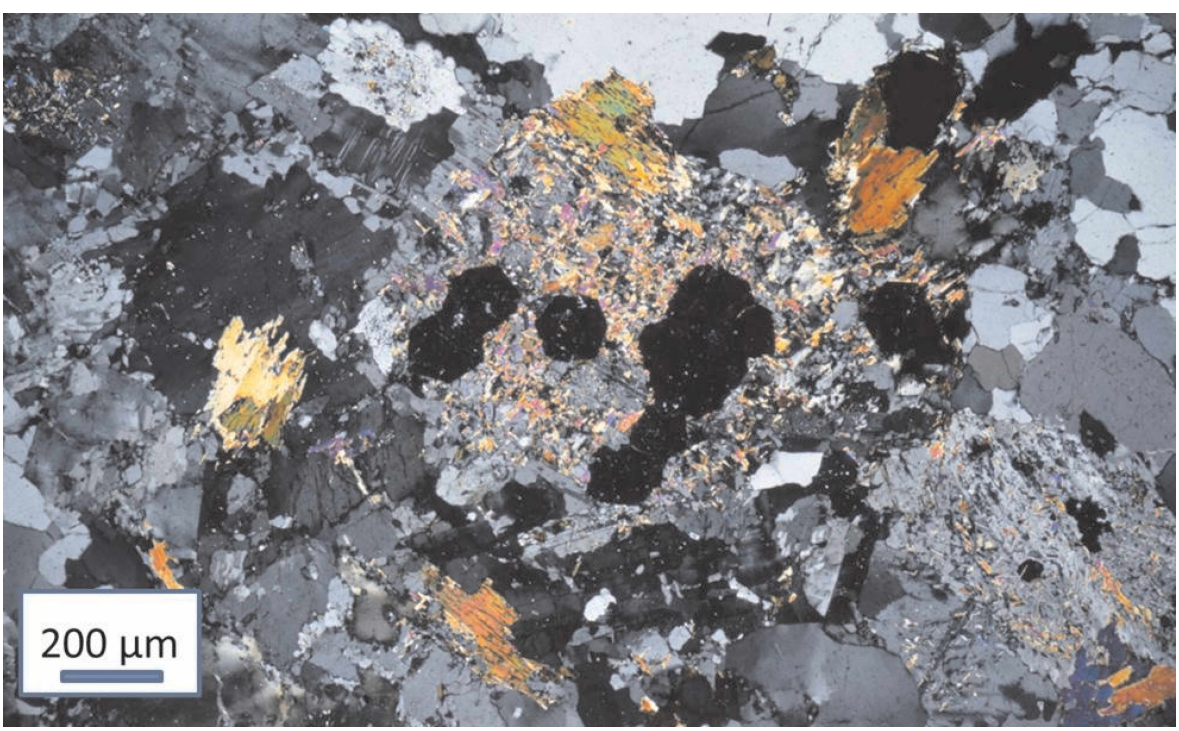
2. ábra – Gránátos gneisz a Gloriette-kőfejtőből (Lantos Zoltán felvétele)



3. ábra – Magmás, pertites káliföldpát-porfiroblaszt a Gloriette-kőfejtőben található gneiszből, keresztezett nikolokkal

ma alapján az eredeti, peralumíniumos, gránáttartalmú, kétcsillámú gránit képződési nyomása nem haladta meg a 0,4 GPa-t, és a hőmérséklet kb. 700 °C lehetett. A nagyobb Mn-tartalmú gránátok esetében a nyomás még alacsonyabb volt (Török, 1998).

Az alpi, nagynyomású ásványegyüttes képviselői a grosszulárkomponensben gazdag Ca-Fe-Mn-gránát ($Grs_{25,9-58,5}Alm_{12-55,8}Sps_{2,8-38,1}Adr_{0-13,9}Prp_{1,3-3,7}$), a nagy Si-, Fe-, és Mg-tartalmú fengit (6,58–7,03 Si a.p.f.u.), K-földpát, albit és klinozoizit (4. ábra).



4. ábra – Alpi albit, fengit és gránát szorít ki magmás biotitot és káliföldpátot, Rókaházi Gneisz (Haraszt-lejtő). A felvétel keresztezett nikolokkal készült

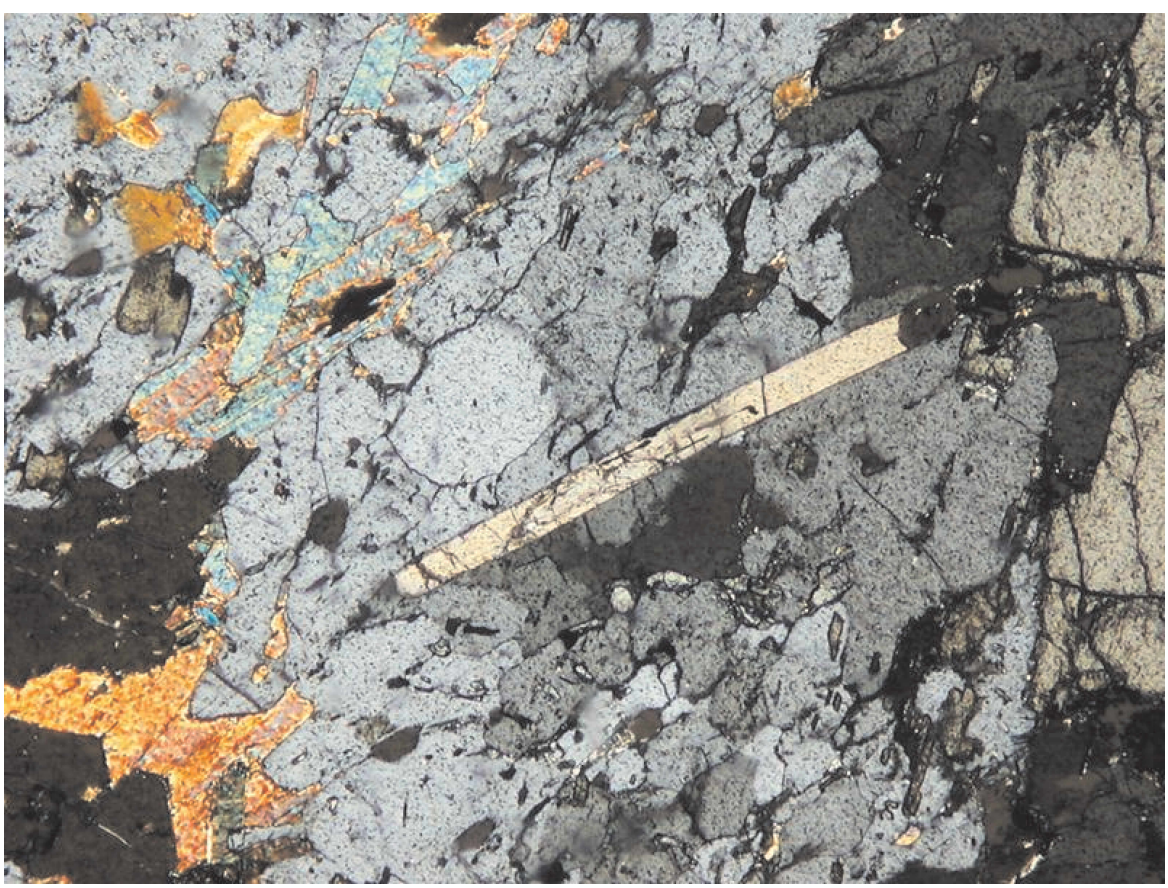
Török, (1996, 1998) szerint a maximális nyomás 1,2–1,4 GPa, a hőmérséklet, pedig 580–600 °C körüli lehetett. Az alpi metamorfózis kora fehér csillámokon és biotiton végzett K–Ar és Ar–Ar, valamint monaciton mért U–Pb–Th koradatok alapján 70–80 millió év volt (Balogh és Dunkl 2005; Nagy et al. 2002). Balogh és Dunkl (2005) fission track koradatai alapján (77,5–57,6 M év cirkon és 62,6–40,9 M év apatit) a kiemelkedés nagyon gyors lehetett.

Gránátos klorit-muszkovitpala (Vöröshídi Csillámpala)

A Soproni-hegység legelterjedtebb metamorf kőzete. A kőzet legjobb feltárása a Vöröshídnál és a Gloriette-kőfejtőben van, de sok helyen vannak kisebb kibukkanásai a hegységben. A csillámpala főleg kvarcot, muszkovitot, paragonitot, kloritot tartalmaz. Helyenként nagyobb mennyiségben gránát, vagy ritkábban plagioklász és biotit, valamint kloritoid is előfordul. A muszkovit és a paragonit gyakran aprószemcsés halmazokban fordul elő, mintha pszeudomorfózát képeznének egy korábbi ásvány (Al_2SiO_5 ásvány és/vagy staurolit?) után. A halmazokban esetenként albit, kloritoid és biotit is található. Az osztrák oldalon Draganits (1998) staurolitreliktumot talált az apró szemcsés fehér csillámból álló halmazokban. Akcesszóriaként turmalin, apatit, ilmenit, rutil, cirkon, monacit és xenotim is található. Az akcesszóriák közül a turmalin helyenként jelentősen feldúsulhat (Spránitz et al., 2018). A Füzesárokban a turmalin gránáttal összefogazódva jelenik meg, ami a két ásvány egyidejű képződését bizonyítja. Bár a kőzet a gneisszel van kontaktusban, azaz minden valószínűség szerint ugyanazt a metamorf utat járta be, de az erős retrográd átalakulások és/vagy a geotermo-barometriára alkalmas ásványegyüttesek hiánya miatt alacsonyabb nyomást kapunk, mint a gneiszekre. A több lelőhelyről származó mintákban a kapott maximális hőmérséklet 560–600 °C, a nyomás pedig 0,84–1,23 GPa volt (Török, 2020). Az osztrák oldalon Draganits (1998) vizsgálta a kőzetet, és egy kicsit alacsonyabb p-T-értékeket kapott (0,95±0,15 GPa és 550±30 °C).

Polimetamorf csillámpala (Óbrennberg és környéke; Óbrennberg – Kaltes Bründl sorozat)

A Vöröshídi Csillámpalánál lényegesen kisebb területen fordul elő, Óbrennberg környékén. Itt jelenleg két feltárásban tanulmányozható. Az egyik a



5. ábra – Sillimanitzárványt tartalmazó andaluzit, Óbrennberg, Kovács-árok, sillimanit-andaluzit-biotitpala. A felvétel keresztezett nikolokkal készült

kovácsárki sillimanit-andaluzit-biotitpala, a másik ennek a kőzetnek az alpi metamorfózis során szinte teljesen átalakult és részben metaszomatizált változata, amely az Oromvégi-kőfejtőben tanulmányozható. Régebben egy nagyon kicsi feltárásból is gyűjthettünk az alpi átalakuláson átesett és nem metaszomatizált csillámpalából a Kovács-árok oldalvölgyében, de ez a feltárás a tereprendezés során megsemmisült.

A kőzetek metamorf fejlődéstörténete meglehetősen komplex, és távolról sem tisztázott. A legidősebb korokat (320–330 M év) Balogh és Dunkl (2005) publikálta, amelyet a sillimanit-andaluzit-biotitpala biotitján mértek. Nagy et al. (2002) kétgenerációs monaciton mért Th–U és teljes Pb-korokat. Az idősebb generációban mért korok 300 M év körül szórnak, a fiatalabbra pedig 75 M év körüli (alpi) korokat kaptak. A legtöbb alacsony záródási hőmérsékletű geokronológiai módszerrel mért adat kevert korokat tükröz (Balogh és Dunkl, 2005; Draganits, 1998; Schuster et al., 2001), de az Alpokban elterjedten detektálható permo-triász korok itt is egyértelműnek tűnnek.

A típusfeltárásban található kőzet főleg *biotit, kvarc,* andaluzit, *plagioklász,* sillimanit, *muszkovit,* káliföldpát ásványokból áll, amihez járulékos és akcesszórikus elegyrészként *staurolit,* kianit, korund, spinell, *gránát, paragonit, ilmenit, apatit, cirkon, monacit* társulhat. (A prealpi ásványegyüttes tagjait kövér, az alpiakat normál, míg a mindkét együttesben stabilakat dőlt betűk jelzik.)

A legidősebb ásványegyüttes tagjai a deformált andaluzit-porfiroblasztokban található léces sillimanit, valamint staurolitreliktumok (5. és 6. ábra). Az andaluzit-porfiroblasztok két típusa különböztethető meg a csiszolatokban (Török, 1999):

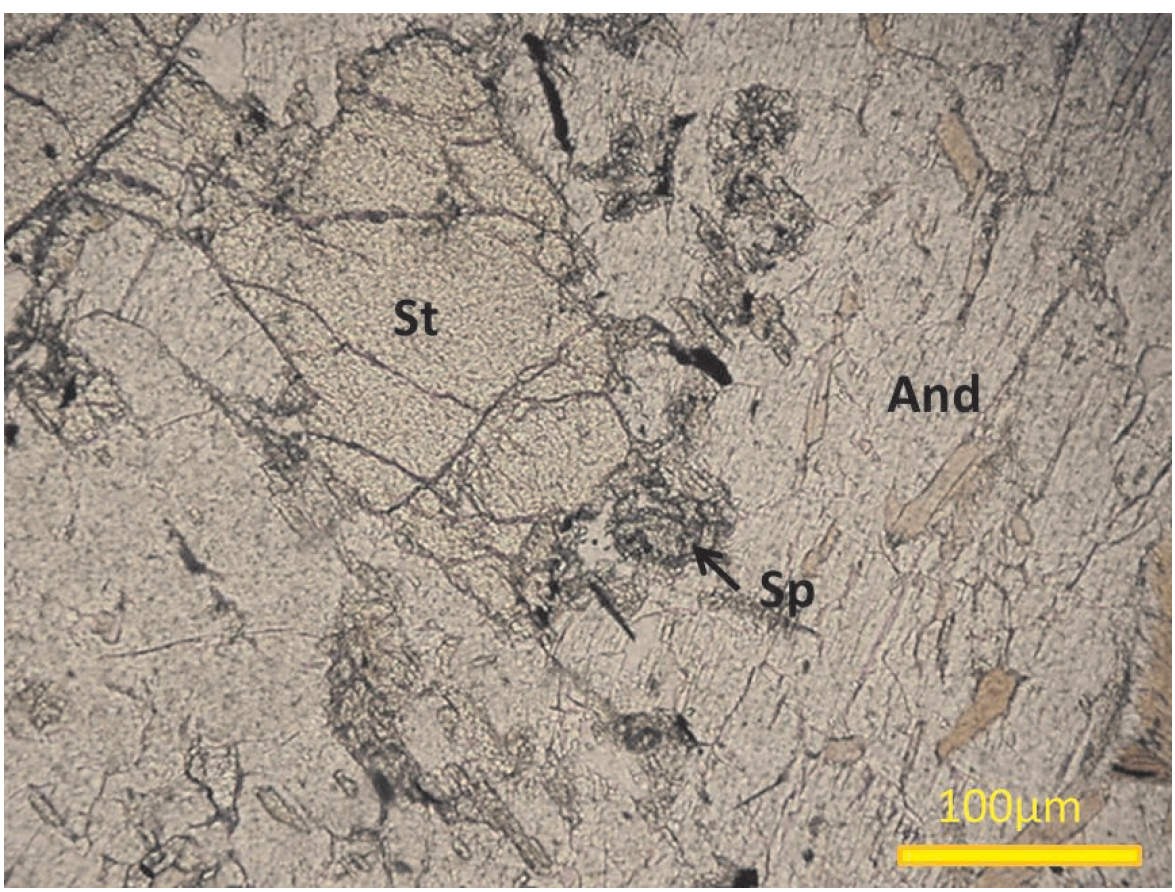
– 1. Biotitot, staurolitreliktumokat±spinellt±korundot±sillimanitot tartalmazó, deformált idős andaluzit.

– 2. Csak biotitot tartalmazó, kevésbé, vagy nem deformált fiatalabb andaluzit. Ez utóbbi néha körülnövi az idősebb andaluzitot.

Az idősebb andaluzitban található staurolitreliktumok körül gyakran található sillimanit, korund és spinell, a prealpi magas hőmérsékletű metamorfózis során képződtek a staurolit széteséséből (6. ábra). A staurolit bomlása már viszonylag alacsony hőmérsékleten bekövetkezik az alábbi reakcióval:

$$\text{staurolit}+\text{muszkovit}+\text{kvarc}=Al_2SiO_5+\text{biotit}+H_2O. \quad (1)$$

Ennek során képződhetett az andaluzit egy része. Ha a növekvő andaluzit-porfiroblaszt belse-



6. ábra – Staurolitreliktum (St) andaluzitban (And). Az apró spinell a staurolit nagy hőmérsékletű reakciótermék. Kovács-árok, sillimanit-andaluzit-biotitpala

jében elfogy a kvarc, akkor a staurolit magasabb hőmérsékleten bomlik a következő reakcióval:

muszkovit+staurolit=hercinit+biotit+andaluzit/sillimanit+H_2O (3)

A staurolit további bomlása kvarcmentes környezetben muszkovit jelenlétében korund képződését eredményezi:

muszkovit+staurolit=andaluzit/sillimanit+korund+biotit+ H_2O (4)

A prealpi metamorfózis során elért legmagasabb hőmérsékletet a muszkovit bomlása mutatja kvarc jelenlétében, mely során káliföldpát és sillimanit képződött.

Dégi et al. (2015) a reakciók alapján végzett termodinamikai modellezést és a következő prealpi fejlődéstörténetet kapta: A gránátok Ca-gazdag magjainak Sm–Nd kora 330 M év körül van. Ez jó egyezést mutat a korábban mért legidősebb korokkal (Balogh és Dunkl, 2005). A legidősebb gránát staurolittal való egyensúly alapján a hercyni p-T-csúcs 600–650 °C és 0,6 GPa lehetett Az ezt követő dekompresszió és hűlés során a staurolit és muszkovit szétesett andaluzittá és biotittá 570 °C hőmérséklet és 0,37 GPa nyomás alatt. Az andaluzit stabilitási mezejében érte a kőzetet a permotriász kisnyomású és nagy hőmérsékletű metamorfózis, amely során izobár felmelegedés következett be. Ennek során az andaluzitban maradt staurolit és muszkovit további szétesése következtében spinell, korund és sillimanit képződött. A kőzet más részein parciális olvadás termékeként leukoszóm csomók és rétegek (pertites káliföldpát, antipertites plagioklász, kvarc és biotit) képződtek, valamint bekövetkezett a muszkovit szétesése káliföldpáttá és sillimanittá, maximálisan 650–680 °C hőmérsékleten és 0,37–0,4 GPa nyomáson. Az ezt követő retrográd metamorfózis során a második generációs andaluzit és korlátozott rehidratációval a káliföldpátból képződött muszkovit gazdagította az ásványegyüttest.

Az alpi átalakulás során az andaluzit kianit+staurolit±kloritoid pszeudomorfózákká esett szét, amikben helyenként még az andaluzitban reliktumstaurolit és korund is megtalálható. A prealpi sillimanitos–fibrolitos, csillámos (káliföldpátos) domének apró szemcsés muszkovittá, szericitté és biotittá estek szét, amik aztán később átalakultak gránáttá, staurolittá ± kloritoiddá. Ilyen, az alpi metamorfózis során átalakult kőzet található a Kovács-árok oldalvölgyében és az Oromvégi-kőfejtőben. Ez utóbbi már erős alpi retrográd metamorfózist és metaszomatózist is szenvedett, amit a klorit és a kloritoid gyakorisága is tanúsít. A zónás gránátok, valamint a fengit-barometria alapján az alpi metamorfózis csúcsa 1,39–1,47 GPa nyomáson és 550–600 °C hőmérsékleten lehetett. Ez nagyon jó egyezést mutat a gneiszek alpi ásványegyütteséből számolt nyomással és hőmérséklettel. A további gránátzónákból számolt hőmérsékleti és nyomásértékek azt mutatják, hogy lassú hűlés mellett dekompresszió játszódott le (Török, 2003).

Leukofillit

A Keleti-Alpokban, így a Soproni-hegységben a gneiszek és a csillámpalák fő nyírási zónáiban metaszomatikus eredetű leukofillitek, vagy Mg-klorit-muszkovit-kvarcpalák fordulnak elő. Az említett ásványokon kívül a leukofillitekben kianit, flogopit, rutil, turmalin, cirkon, monacit és xenotim is található. Ezzel a speciális kőzetfajtával több szerző is foglalkozott (Lelkes-Felvári et al., 1983, 1984; Kisházi és Ivancsics, 1985, 1987b; Demény et al., 1997; Prochaska et al; 1997, Török, 2001). Lelkes-Felvári et al. (1983, 1984) szerint a leukofillitek egy speciális kiindulási kőzet metamorfózisából származtathatók, míg Kisházi és Ivancsics (1985a, 1987) a terepi és a mikroszkópos megfigyelések alapján a metaszomatikus eredet mellett érveltek. Az újabb, korszerű vizsgálati módszerekkel (stabilizotóp-elemzések, fluidzárvány-vizsgálatok, elektron-mikroszondás mérések) (Demény et al., 1997; Prochaska et al., 1997) a metaszomatikus eredet igazoltnak látszik. A képződési körülményekről is megoszlanak a vélemények. Míg Demény et al. (1997) a leukofillit képződését a csúcs p-T körülményekre teszi, addig Prochaska et al. (1997) és Török (2001, 2020) a retrográd metamorfózis termékének tartja őket.

A csillámpalákban található leukofillithez kötődik a Füzes-árok környékén található Th- és ritkaföldfém-tartalmú ásványdúsulás, melyet Fazekas et al. (1975) írt le. Ebben az ásványtársulásban florencitet ($CeAl_3[PO_4]_2[OH]_6$), monacitot, thoritot, torianitot és apatitot írnak le. A monacit helyenként helyettesíti, kiszorítja a florencitet és az ércesedést az apatit képződése zárja le. Az RFF-Th-foszfátos ércindikáció keletkezését pegmatitokból illetve torlatokból metamorf mobilizációval képzelik el.

Török (2020) mikroszkópos és scanning elektronmikroszkópos vizsgálatai alapján három ércesedéstípus különíthető el:

1. Florencites ércesedés, melyben a florencit változó mennyiségű Th-ot tartalmaz, ami a visszaszórt elektronképen inhomogén foltos mintázat vagy pedig látványos zónásság formájában jelenik meg. Az inhomogén florencit gyakran deformált. Előfordul, hogy ezt a deformált inhomogén florencitet zónás florencit növi körül, majd erre újból inhomo-

gén florencit nőtt. Mindkét típusba tartozó florencitet harántolhatják repedések, melyeket gyakran Th-gazdag monacit tölt ki. Ez a nagy Th-tartalmú monacit gyakran jelenik meg a florencitben zárványként is, de ezek a zárványok általában a florencit repedései mentén helyezkednek el. Ezek a repedések pedig többnyire jól követhetők a florencitszemcse határáig. Ez a szöveti elrendeződés arra utal, hogy a monacit képződése a florencit után következett, ami összhangban van Fazekas et al. (1975) megfigyeléseivel. A florencitben helyenként előforduló kianit- és Mg-kloritszemcsék azt mutatják, hogy az ércesedés a leukofillit képződése után történt.

2. Monacit-apatitos ércesedés, melyben a monacit vázkristályok gyakran a zónás florencitszemcsék utáni alakot veszik fel, és a monacitszemcséken idiomorf apatitkristályok ülnek. Mind a monacit, mind pedig az apatit a kőzetalkotó kianit és Mg-klorit után képződtek. A thorit és a torianit általában zárványként található a monacitban és ritkábban az apatitban. A befogadó leukofillit is különbözik az előző típus leukofillitjétől, mert ebben az ércesedési típusban a muszkovit majdnem teljesen paragonittá alakult át.

3. Allanit-apatitos ércesedés, ami a Füzes-árok gránátos klorit-muszkovit-kvarcpalájában található egyik kvarc-turmalinos érre jellemző. (Ez a gránátos klorit-muszkovit-kvarcpala a Vöröshídnál előfordulóhoz hasonló.) A kvarc-turmalinos ér gránátot, albitos plagioklászt, Fe-gazdag kloritot, muszkovitot is tartalmaz. Az allanit a turmalinszemcsék közti teret tölti ki, ami azt mutatja, hogy a turmalin képződése megelőzte az allanitét. Ebben a kvarc-turmalinos érben egyes turmalinszemcsék gránáttal fogazódnak össze, tehát együtt keletkeztek. Az allanit szintén előfordul az idiomorf apatitkristályokban is, mint zárvány, tehát az apatit itt is az utolsóként képződött fázis. Az allanit-apatitos ércesedés viszonya az előző két típussal nem ismert, mert a vizsgált mintákban nem fordulnak elő együtt. Ami viszont biztosnak látszik, hogy a RFF-ércesedést az apatit képződése zárja le.

4. Egyes helyeken a turmalin is feldúsul. Ezekben a zónákban, nagyon gyakran a metaszomatózis jellegének megfelelően Mg-ban gazdag turmalin képződik (Spránitz et al., 2018).

A gneiszek nyírási zónáiban elhelyezkedő leukofillitben hasonló ritkaföldfémes, tóriumos ércindikáció nem ismert, viszont a ritkaföldfém- és tóriummentes foszfátos ásványkiválások igen. Egy leukofillitmintában a sopronbánfalvai Ady mozi melletti feltárásból nagy mennyiségű Mg-Al-foszfátot találtam, amelyet ként is tartalmazó Sr-Al-foszfát szegélyez. Foszfátásványok egyes milonitosodott gneiszekben is előfordulnak késői kiválásként (Török, 2001).

MEGÁLLÓK

1. Harkai-kúp
gneisz, metagránit, pegmatit

A Soproni-hegység fő tömegétől pár kilométerre, keletre találhatók kisebb kibukkanó gneiszdombok. Ilyen a Harkai-kúp, vagy a Kő-hegy. A Kő-hegy ma is aktív kőfejtő, ahol jól foliált, helyenként milonitos, gránátos gneiszet bányásznak. A Harkai-kúp (vagy Harkai-csúcs néven is szerepel) tetején levő kőfejtő a gneisz egyik legjobb szabadon látogatható feltárása, ahol többféle kőzetváltozatot gyűjthetünk. A kőfejtő környékén törmelékben a gránátos klorit-muszkovit-kvarcpala (Vöröshídi Csillámpala) is megtalálható, de jó feltárása nem ismert. A kőfejtő bejáratával szemben a fal tetején egy nyírásos zóna majdnem teljesen lepusztult maradványai találhatók némi leukofillittel. Alatta egy kvarcból, földpátból és nagyméretű muszkovitból álló pegmatitos ér húzódik. A fő kőzettípus a gyengén irányított vagy palás gneisz és a metagránit, melynek fő összetevői a kvarc, plagioklász, káliföldpát és muszkovit. Ebben a kőzetben viszonylag kevés a szabad szemmel látható gránát és a biotit is.

2. Kovács-árok
sillimanit-andaluzit-biotitpala

Magyarország legmagasabb fokon metamorfizálódott, felszíni feltárásban is tanulmányozható kőzetét a polimetamorf sillimanit-andaluzit-biotitpalát tanulmányozhatjuk ebben a feltárásban. Friss törési felületen sötét, biotitban gazdag kőzetet látunk, melyben lila színű foltok jelzik az andaluzitot. Egy eredetileg üledékes, homokos és agyagos rétegek váltakozásából álló rétegsort látunk a feltárásban. Az agyagosabb részekből képződött a sillimanit-andaluzit-biotitpala, a homokban gazdagabb részek pedig kvarcittá alakultak. A homokkőben helyenként agyagosabb csíkok voltak, melyek most andaluzitban, sillimanitban és biotitban gazdagabb sávok formájában jelentkeznek. Vékonycsiszolatban helyenként kis torlatokat is találunk, melyek az eredeti üledékes rétegzettséget mutatják.

3. Oromvégi-kőfejtő,
kianit-staurolit-gránát csillámpala, kianit-kloritoid csillámpala, kianit-leuchtenbergit-muszkovitkvarcit (leukofillit)

A kovács-árki feltárásban látható csillámpala alpi metamorfózist és metaszomatózist szenvedett változatait láthatjuk ebben a kőfejtőben. Sajnos ez a feltárás magánterületen van.

A csillámpala legfontosabb ásványai a kvarc, muszkovit, biotit, gránát, plagioklász, staurolit, kianit, kloritoid, klorit. A kőzetben mikroszkópban felismerhetők az egykori andaluzit utáni pszeudomorfózák, melyek kianitból, staurolitból ± kloritoidból és muszkovitból állnak. Ha szembe állunk a fallal, akkor egy kiugró kőzettelért látunk a feltárás bal oldalán. Ez a csillámpalából metaszomatózissal átalakult leukofillit (kianit-leuchtenbergit-muszkovitkvarcit), amely a nyírási zónán belül és annak közvetlen környezetében lejátszódott metaszomatózist tanúsítja. A leukofillit mellett a csillámpala átalakult, a biotit, a gránát, a plagioklász és a staurolit eltűnt belőle, a kőzet fő tömegét muszkovit és kvarc teszi ki. Ezen kívül, klorit, poszttektonikus kianit és kloritoid található még a kőzetben. Az andaluzit utáni pszeudomorfózák többsége eltűnik, illetve kianitból ± kloritoidból álló kisebb aggregátumokká alakul. A kloritoidlécek gyakran egy középpontból több irányba, sugarasan nőnek. A leukofillittől távolodva fokozatosan megjelennek a gránátok, majd a biotit és staurolit, végül a plagioklász is. A poszttektonikus kianit és kloritoid pedig visszaszorul, majd eltűnik.

4. Vöröshíd
gránátos klorit-muszkovit-csillámpala

A Soproni-hegység leggyakoribb metamorf kőzete tárul fel a Vöröshíd melletti útbevágásban, amely a többi feltáráshoz hasonlóan egyre rosszabb állapotban van. Ez a kőzet legnagyobb és legjobb feltárása a Soproni-hegység magyarországi részén. A kőzetben szabad szemmel is jól látható gránátok találhatók. Ezen túl kvarcot, muszkovitot, paragonitot és kloritot tartalmaz legnagyobb mennyiségben a kőzet. Ritkábban kloritoid, plagioklász és biotit is előfordul. Egyes helyeken a hegységben turmalin is felszaporodik a kőzetben, de sajnos nem ebben a feltárásban (Spránitz et al., 2018).

5. Lőtér, Vas-hegy oldala
gneisz leukofillit (leuchtenbergit-muszkovitkvarcit) átmenet

A Lőtéren található feltárásban a gneisz–leukofillit átmenete tárul fel. A gneisz fokozatosan alakul át, ahogyan közeledünk a metaszomatizált nyírási zóna felé. Ezt a jelenséget terepi megfigyeléseik, csiszolatos vizsgálataik és teljeskőzet-elemzések alapján Kisházi és Ivancsics (1985, 1987 b) írták le, és leírásukat Demény et al. (1997), és Török (2001) egészítette ki hidrogén- és oxigénizotópos mérésekkel, valamint ásványkémiai és nyomelemzésekkel. Az eredetileg kvarcot, plagioklászt, káliföldpátot, muszkovitot, biotitot és gránátot tartalmazó kőzetből a leukofillites zóna felé haladva először eltűnik a biotit és a gránát (káliföldpát-gneisz). A következő zónában már a káliföldpát is eltűnik (albitgneisz), majd az albit is kimarad, és muszkovit-kvarcpala lesz a gneiszből, melyben helyenként flogopitot is találhatunk. A legbelső zónában már leukofillit van, amiben megjelenik a leuchtenbergit (Mg-klorit) muszkovit és kvarc mellett. A legintenzívebben átalakult zónákban a leuchtenbergit felszaporodását látjuk a muszkovit rovására (ebben a feltárásban sajnos ezt nem tanulmányozhatjuk). A gneiszekben található leukofillitekben nagyon ritkán kianitot is találhatunk.

6. Gloriette-kőfejtő
klorit-muszkovitpala és gneisz kontaktusa

A Vas-hegy északi részén a Gloriette kilátó alatt található kis kőfejtőben a klorit-muszkovitpalát tanulmányozhatjuk, amelybe több helyen vékony gneiszerek, -lencsék, -tömzsök találhatók. Az alpi metamorfózis során gneisszé metamorfizálódott gránit benyomulását és kontaktusát figyelhetjük meg ezen a helyen. Több más hasonló előfordulás is található a Soproni-hegységben, de ezek csak törmelékben mutatják a két kőzetet. Ez az egyedüli ismert feltárása, ahol szálban tanulmányozhatjuk a kontaktust. Kontaktásványok, illetve kontaktzóna már nem vehető észre, a gneisz és a klorit-muszkovitpala kontaktusa éles. Kisházi és Ivancsics (1989) kétféle gneisztípust írtak le. Az egyik finomabb („aplitos"), a másik durvább szemcsés („pegmatitos"). A hegység más helyein előforduló törmelékben, a kontaktuson néhol felszaporodik a turmalin (Spránitz et al., 2018).

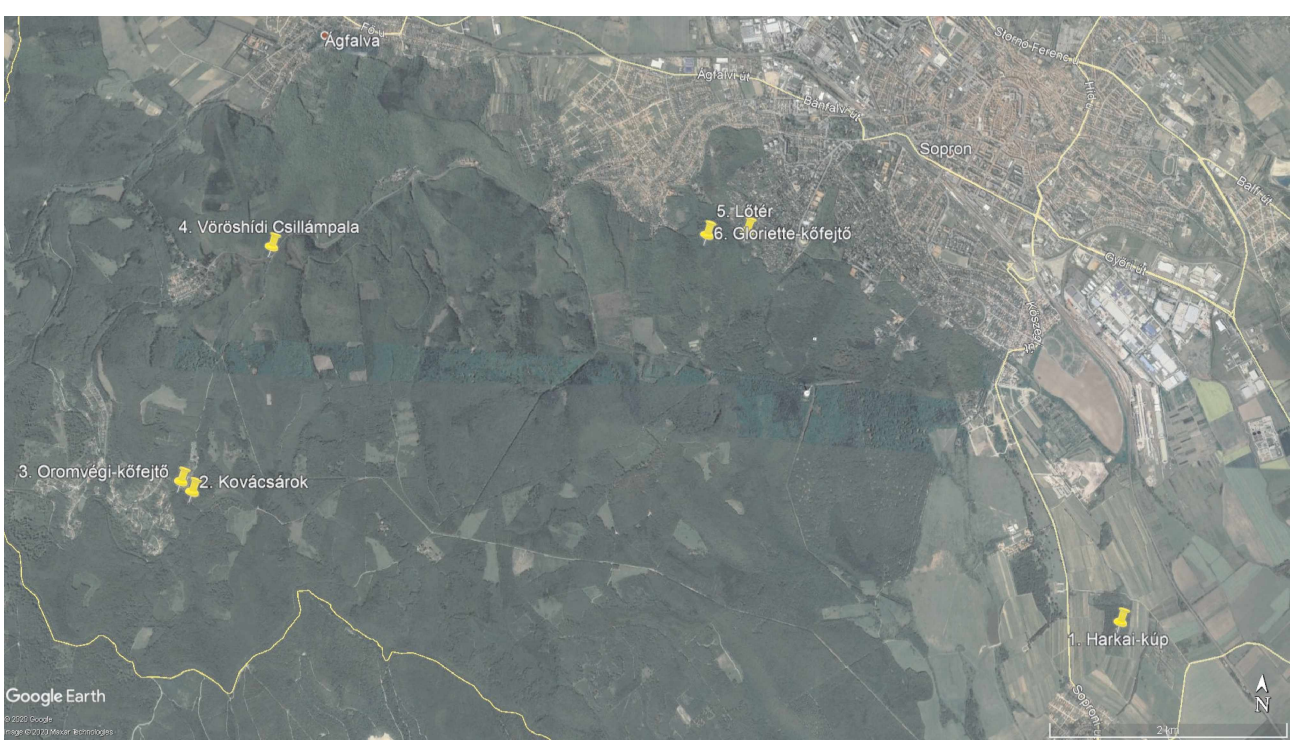
Irodalomjegyzék

Balogh, K., Dunkl, I. (2005): Argon and fission track dating of Alpine metamorphism and basement exhumation in the Sopron Mts. (Eastern Alps, Hungary): thermochronology or mineral growth? – Mineralogy and Petrology 83, 191–218.

Dégi J., Török, K., Schuster, R. (2015): Szubmikrométeres léptékű megfigyelések az Óbrennbergi csillámpalában – három tektonikai ciklus elkülönítése. – In: Pál-Molnár, E., Raucsik, B., Varga, A. (szerk): „Meddig ér a takarónk?" A magmaképződéstől a regionális litoszféra formáló folyamatokig. 6. Kőzettani és Geokémiai Vándorgyűlés, Ópálos 42–46. ISBN 978-963-306-389-7.

Demény, A., Sharp, Z.D., Pfeifer, H.-R. (1997): Mg metasomatism and formation conditions Mg-chlorite-muscovite-quartz-phyllites (leucophyllites) of the Eastern Alps (W. Hungary) and their relations to Alpine whiteschists. – Contributions to Mineralogy and Petrology 128, 247–260.

Draganits, E. (1998): Seriengliederung im Kristallin des südlichen Ödenburger Gebirges (Burgenland) und deren Stellung zum Unterostalpin am Alpenostrand. – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, 141, 113–146, Wien.

Fazekas V., Kósa L., Selmeczi B. (1975): Ritkaföldfém ásványo-

sodás a Soproni-hegység kristályos paláiban. – Földtani Közlöny 105, 297–308.
Kisházi, P., Ivancsics, J. (1985): Genetic petrology of the Sopron crystalline schist sequence. – Acta Geologica Hungarica, 28, 191–213.
Kisházi, P., Ivancsics, J. (1987a): A Soproni Csillámpala Formáció genetikai kőzettana. – Földtani Közlöny, 117, 203–221.
Kisházi, P., Ivancsics, J. (1987b): Újabb adatok a Sopron környéki leuchtenbergit tartalmú metamorfitok keletkezésének problematikájához. – Földtani Közlöny 117, 31–45.
Kisházi, P., Ivancsics, J. (1989): A Soproni Gneisz Formáció genetikai kőzettana. – Földtani Közlöny, 119, 153–166.
Lelkes-Felvári Gy., Sassi, F.P., Vison à, D. (1983): On the genesis of some leuchtenbergite-bearing metamorphic rocks and their phase relations. – Rendiconti della Societa Italiana di Mineralogia e Petrologia, 38. pp. 607–615.
Lelkes-Felvári, Gy., Sassi, F.P., Visoń, D. (1984): Pre-Alpine and Alpine developments of the Austridic basement in the Sopron area (Eastern Alps, Hungary). – Rendiconti della Societa Italiana di Mineralogia e Petrologia, 39, 593–612.
Nagy G., Draganits, E., Demény, A., Pantó, Gy., Árkai, P. (2002): Genesis and transformations of monazite, florenzite, and rhabdophane, during medium grade metamorphism: examples from the Sopron Hills, Eastern Alps. – Chemical Geology 191, 25–46.
Prochaska, W., Huber, M., Bechtel, A. (1997): Die alpidische Leukophyllitbildung am Alpenostrand. – Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt, 20, 37–52.
Schuster, R., Scharbert, S., Abart, R., Frank, W. (2001): Permo-Triassic extension and related HT/LP metamorphism in the Austroalpine – Southalpine realm. – Mitteilungen der Gesellschaft der Geologie und Bergbaustudenten Österreichs, 44, 111–141
Spránitz, T., Józsa, S., Kovács, Z., Váczi, B., Török, K. (2018): Magmatic and metamorphic evolution of tourmaline-rich rocks of the Sopron area, Eastern Alps. – Journal of Geosciences, 63, 175–191. https://doi.org/10.3190/jgeosci.263
Török, K. (1996): High-pressure/low-temperature metamorphism of the Kő-hegy gneiss, Sopron (W-Hungary); Phengite barometry and fluid inclusions. – European Journal of Mineralogy, (5), 917–925
Török, K. (1998): Magmatic and high-pressure metamorphic development of orthogneisses in the Sopron area, eastern Alps (W Hungary). – Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen, 173 (1), 63–91
Török, K. (1999): Pre-Alpine development of the andalusite-sillimanite-biotite-schists from the Sopron mountains (Eastern Alps, Western Hungary). – Acta Geologica Hungarica, 42, 127–160
Török, K. (2001): Multiple fluid migration events in the Sopron Gneisses during the Alpine high-pressure metamorphism, as recorded by bulk-rock and mineral chemistry and fluid inclusions. – Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen, 177 (1), 1–36
Török, K. (2003) Alpine P-T path of micaschists and related orthogneiss veins near Obrennberg (W-Hungary, Eastern Alps). – Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen, 179 (2), 101–142.
Török, K. (2020): Multiple fluid migration events and REE+Th mineralisation during Alpine metamorphism in the Sopron micaschist from the Eastern-Alps (Sopron area, Western Hungary). – Földtani Közlöny, 150 (1), 45–61. DOI: 10.23928/foldt.kozl.2020.150.1.45