

AZ ASZTAGKŐI ANTIMONITOS ÉRCINDIKÁCIÓ

TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

GEOLOGUS MESTERKÉPZÉS

Készítette: Éliás Zsombor

Témavezető: Dr. Molnár Ferenc



Eötvös Loránd Tudományegyetem

Földrajz- és Földtudományi Intézet

Ásványtani Tanszék

Budapest, 2024 november 20.

Tartalom

Tartalom	1
Bevezetés.....	2
Kutatástörténet	3
Az Asztalgő és környezetének földtani felépítése	6
Vizsgálati módszerek.....	8
<i>Mintagyűjtés és mintaelőkészítés</i>	<i>8</i>
<i>Polarizációs mikroszkópos petrográfiai vizsgálatok.....</i>	<i>10</i>
<i>Pásztázóelektronmikroszkópos vizsgálatok</i>	<i>11</i>
<i>Fluidzárvány mikrotermometria.....</i>	<i>11</i>
Eredmények.....	12
<i>Terepi megfigyelések.....</i>	<i>12</i>
<i>Petrográfiai vizsgálatok</i>	<i>14</i>
<i>Megfigyelések pásztázó elektronmikroszkópban</i>	<i>17</i>
<i>Infravörös mikroszkópia.....</i>	<i>22</i>
<i>Fluidzárvány petrográfia.....</i>	<i>23</i>
<i>Folyadékzárvány mikrotermometria</i>	<i>25</i>
Összefoglalás, következtetések.....	29
Köszönetnyilvánítás.....	30
Forrásjegyzék	31

Bevezetés

A Mátra déli oldalában, Gyöngyöstől északra található az Asztagkő cinnabaritos-antimonitos-baritos-ércesedésése. A területet többen is kutatták az elmúlt néhány évtizedben, azonban a rossz feltártság, ami a múltbeli ipari és bicskabányáknak, valamint az ásványgyűjtőknek is köszönhető még nem sikerült az ércindikáció kialakulásához vezető hidrotermális folyamatok részleteit megérteni. A dolgozatomban az ásványtani, kőzettani és folyadékzárvány vizsgálatok alapján a terület egy kevésbé ismert szegmensében jelentős antimonit dúsulást tartalmazó hidrotermás breccsazóna kialakulási folyamatait mutatom be. Ugyanakkor az Asztagkő, mint potenciális „kritikus nyersanyag” lelőhely, fontos lehet a jövőben az antimon és barit szempontjából.

Kutatástörténet

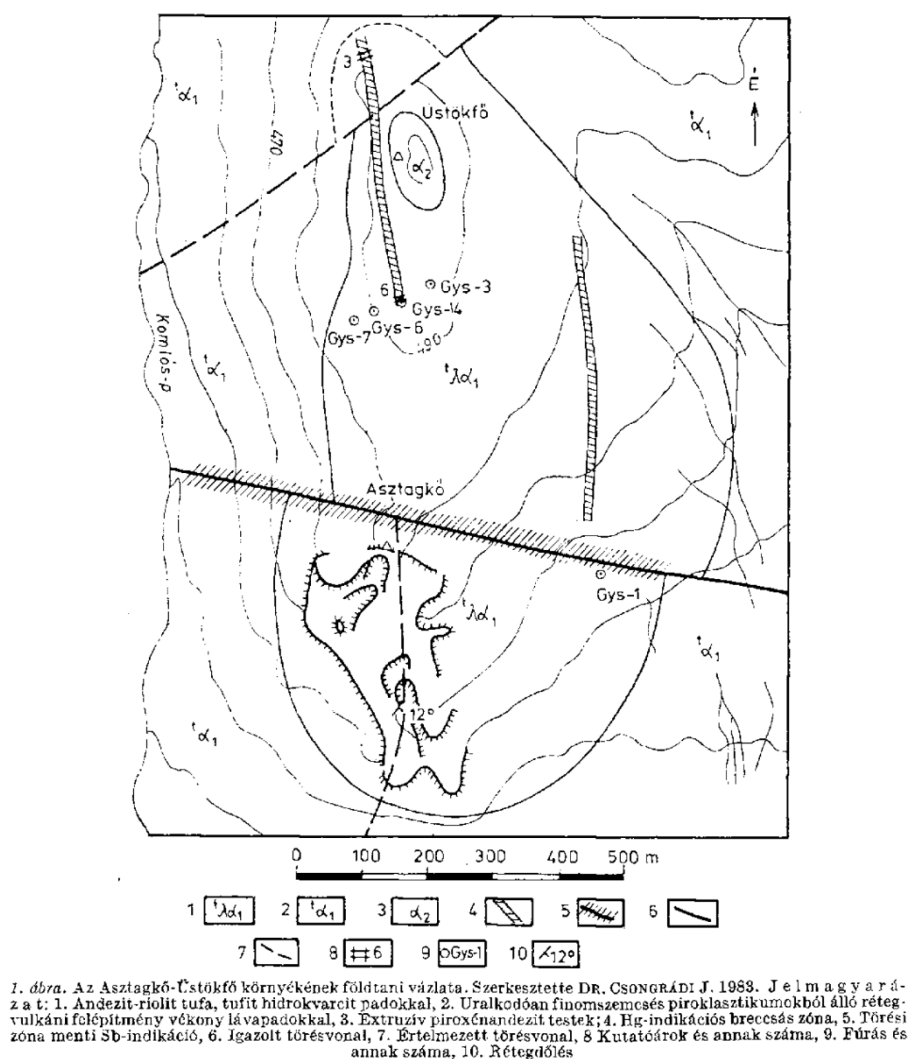
Az első részletesebb leírást 1940-ben Szurovy Géza adta meg az Asztagkő és Üstőkő vonulatán található kovásodott kőzetesre (Szurovy, 1940). Kimelte az intenzív baritosodást, valamint említés tett a pirit és antimon megjelenésére is, és feltételezte, hogy az ércindikáció kapcsolatban állhat Gyöngyösorosi ércesedésével. Ércmikroszkópos vizsgálatokat is végzett, melyek alapján szfaleritet, piritet, markazitot és antimonitot azonosított. Az ércesedést az általa megállapított adatok alapján nem lehetett volna gazdaságosan kitermelni. Az 1940-es évek végétől Magyar Állami Földtani Intézet, valamint különböző vállalatok egészen az 1980-as évekig folytattak különböző érckutató és térképező kutatásokat. Különböző tárókat hajtottak, és árkolásokat is végeztek a területen. A több éves kutatási sorozat eredményeként megállapították a törések lehetséges helyzetét és azok csapását. Azonosították Asztagkő és annak környezetében található kőzeteket és azok hidrotermális átalakulását, a rétegek dőlését és az azokhoz tartozó szerkezeti vonalakat. A területen az 1940-es évektől 80-as évekig dolgozott geológusok száma sok mindent elárul a terület ismeretességére vonatkozó bizonytalanságokról. Többek között Szurovy Géza, Vidacs Aladár, Vargáné Máthé Klára, Siklóssy Sándor is végzett megfigyeléseket a területen (Szurovy, 1940, Vidacs, 1961, Vargáné 1961, Siklóssy 1977). Az intenzív kutatások végül nem vezettek érc kitermeléséhez, helyette a tűzálló „kvarcitot” bányászták.

A 80-as évek elején az Asztagkő hidrotermális zónáját, mint lehetséges antimon és higanyérc lelőhelyet a Magyar Földtani Intézet Nyugat-Mátra kutatási programjának keretein belül Csongrádi Jenő vizsgálta a legrészletesebben (Csongrádi, 1982). Az ércesedést Csongrádi egy alacsony hőmérsékletű, epitermális rendszernek sorolta be. Az Üstőkői higanyindikációs zónájában és annak környezetében több fúrást is mélyített, szám szerint négy darabot (1. ábra), de az antimonitos zónát e fúrások nem harántolták (Csongrádi, 1984). A higanyindikációt árkolással is megnyitották, de ennek helyét terepi bejárásaim során térkép alapján sem sikerült azonosítanom. A legjobb eredményt a Gys-7 es ferdefúrás érte el, mely egy polimetalikus Cu-Zn-Pb ércetest szóródási zónáját harántolta (2. ábra), ami az Asztagkő és Üstőkő tömege alatt egy jelentősebb teléres ércesedés jelenlétére utal (Csongrádi, 1984).

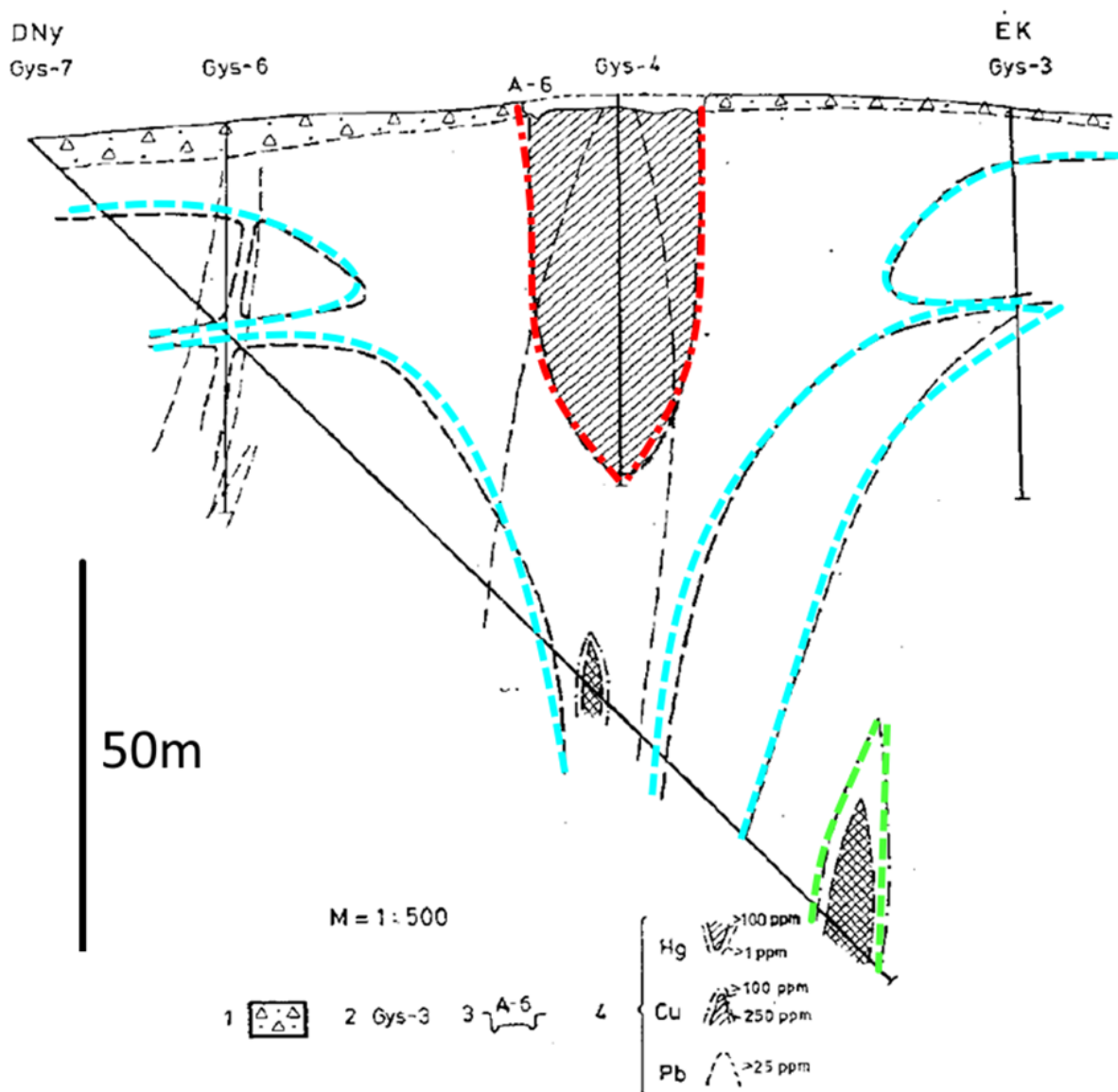
Az asztagkői bariton és kvarcon Bíró Ildikó és Vető Istvánné 1981-ben végzett fluidzárványvizsgálatokat a közép-mátrai ércesedés megértésének céljából. A kapott adatokat korábbi irodalmakkal összevetve egy epitermális ércesedést feltételeztek, azt pedig alátámasztotta a már ismert ásványparagenezis. (Bíró és Vetőné, 1981).

A területen újabb vizsgálatokat végzett 1994-ben Molnár Ferenc és Gatter István a Magyarországon megjelenő üledékes és hidrotermás baritok összehasonlító és genetikai vizsgálata kapcsán (Molnár és Gatter, 1994). Vizsgálták a baritok morfológiáját, Sr-tartalmát, valamint a kristályosodási körülményeket és ezek korrelációját. A kapott eredmények alapján különítették el a különböző környezetben keletkezett baritokat. Az asztagkői baritot posztvulkanizmus működéséhez csatolták, mely egy felforrt, magas sótartalmú fluidumból válhatott ki.

Az Asztagkő hidrotermális folyamatival az ELTE Ásványtani Tanszékén 2011-ben Tóth Zsuzsanna is foglalkozott szakdolgozatában (Tóth, 2011). A dolgozatban a hidrotermás rendszer ásványparagenezise, közetei és azok elváltozásai, és az alsó bányaudvarban található baritok genetikája volt a fókuszban. A dolgozat a baritok elsődleges és másodlagos fluidzárvány vizsgálata alapján egy keveredési folyamatot feltételez melyben a meteorikus víz, hígítja a magmás eredetű fluidumokat.



1. ábra. Az Asztagkő és az Üstökfő földtani vázlata Csongrádi (1984) nyomán.



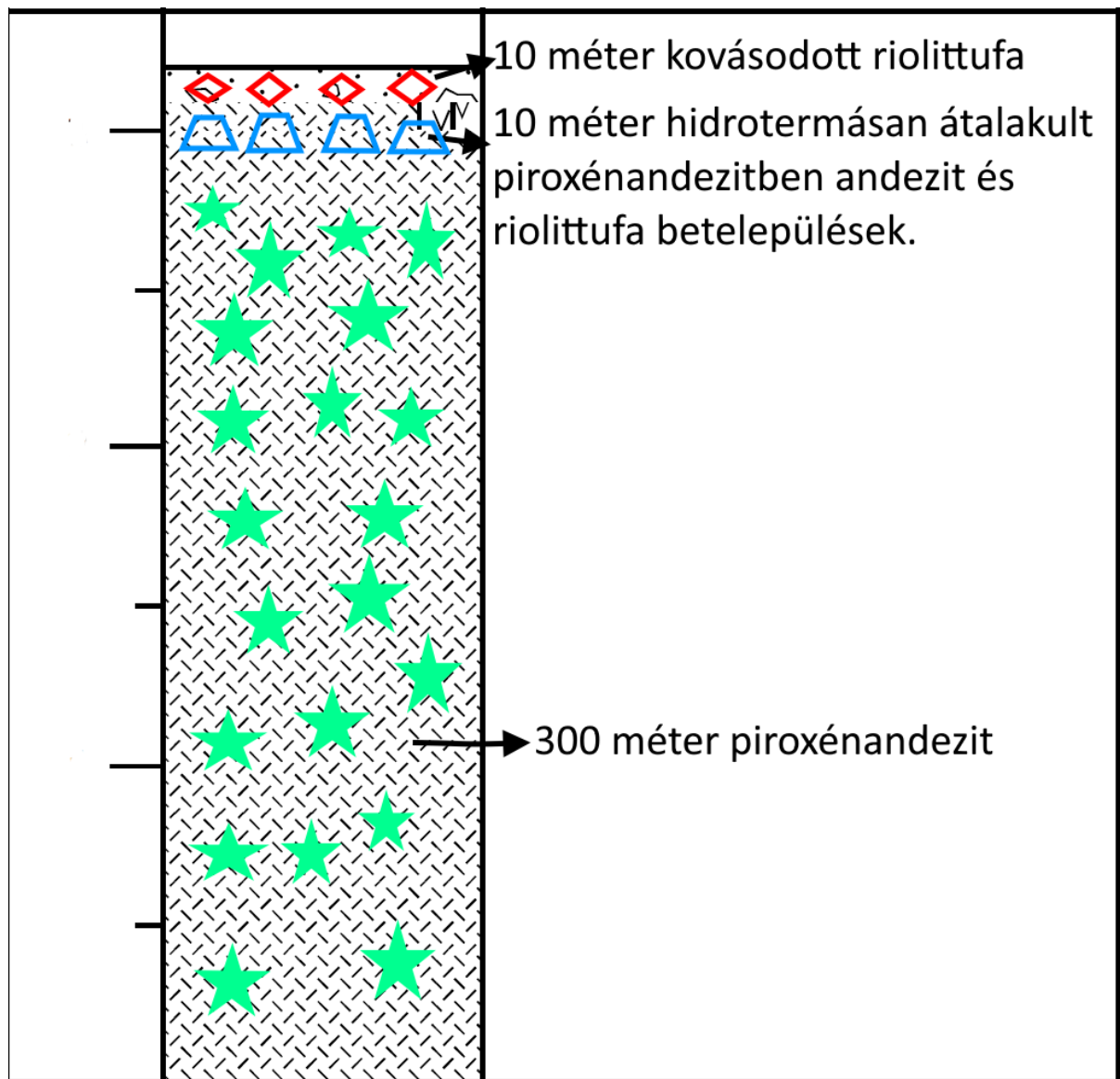
2. ábra A sekélyfúrások helyzete. Jelmagyarázat: A fekete vonalak jelzik a fúrások helyzetét, a kék szagatott vonal a kovásodott testet, a piros szagatott vonal a higanyindikációt, míg a zöld szagatott vonal a Gys-7 fúrással érintett szóródási udvart jelöltem Csongrádi. (1984) után módosítva.

Az Asztagkő és környezetének földtani felépítése

Az Asztagkő a Márta-déli részén, Gyöngyössolymostól északra körülbelül 6 km-re található

A Mátra földtani felépítését Varga et al., (1975) monográfiája alapján a következőekben foglalom össze. A Mátrát aljzata szerint egy keleti és nyugati részre tudjuk bontani. A Nyugat-Mátra alatt mezozoos Dunántúli középhegységhez tartozó karbonátok vannak míg a Kelet-Mátrában már a Bükk mezozoikumi bazaltrá és tengeri üledékekre települ a vulkáni sorozat. A Mátra neogén korú rétegvulkáni felépítését, többfázisú vulkáni tevékenység alakította ki. A legintenzívebb vulkanizmus a miocén kárpáti és bádeni emeletében folyt. A kárpáti emeletben andezit lávafolyások, továbbá dacit és riolit tufaszórás figyelhető meg, melyre a bádeni piroxénandezit és különböző tufarétegek települnek. A vulkanizmus után a kalderarendszer beszakadása figyelhető meg a Mátra nyugati felében. A kaldera beszakadása közben és utána kialakuló hidrotermális rendszerek különböző ércesedéseket hoztak létre Mátraszentimre és Gyöngyösi környékén, illetve a gyöngyössolymosi Asztagkőn. A Gyöngyösi környékén található teléres Cu-Zn-Pb ércesedést már az 1700-as években termelték, de nagyipari bányászatára csak a második világháború előtt került sor. Végül bezárásokkal és újrányításokkal tűzdelt története során 1986-ban végleg megszüntették a termelést. A bánya a felszíntől 300 méter mélyig tárta fel a teléres ércet.

Az Asztagkő geológia felépítésének leírása egy fúrás, a Gys-1 fúrás alapján történt meg. A leírások nem tesznek különbséget a különböző andezitek megjelenése között. A fúrás legfelső 10m-re kovásodott riolittufát majd breccsás, hidrotermálisan elváltozott piroxénandezitet, utána pedig 300 méteren üde piroxénandezitet harántolt. (Csongrádi 1982)



3. ábra. Az Asztaghő egyszerűsített rétegsora Csongrádi (1982) leírásai alapján.

Vizsgálati módszerek

Mintagyűjtés és mintaelőkészítés

Kutatásom során többször is végeztem terepbejárást az Asztagkövön. Az áthalmozott meddőhányók és meredek sziklafalak egyaránt segítettek és nehezítették a tájékozódást és a kőzettest felépítésének megértését. A természet mellett az ásványgyűjtők munkája is megfigyelhető a különböző ásványokat tartalmazó bányaudvarokban. A kőfejtőben két nagyobb bányaudvar található. Az felső udvarban található érctartalmú zónát és annak csapását friss törési felületek létrehozásával, valamint a törmelékes anyag letisztítása után sikerült azonosítanom (4. ábra). A felső udvar megközelítése már a volt bányaterületén szinte teljesen benőtt fiatal cserjék és fák között érhető el. Ebben az udvarban található az antimonit tartalmú breccsás zóna, de itt csak egy pár négyzetméteren vizsgálható. A kőfejtő déli bejáratából nyílik az alsó bányaudvar. Itt a megjelenő ásvány a több generációs barit, ez alapján baritos udvarnak is szokták nevezni.

Az antimonitot tartalmazó mintákat a kőfejtőudvarban észlelhető rossz feltártság miatt az attól 50 méterre található meddőhányón gyűjtöttem. Minden mintavételnél ügyeltem, hogy a bennük található ásványok az eredeti formájukban kerüljenek begyűjtésre, a másodlagos ásványokat és elváltozásokat tartalmazó minták nem kerültek felhasználásra.

Az antimonit (Sb_2S_3) fizikai tulajdonságai, mint az alacsony keménysége és jó hasadása megnehezítette a polírozott csiszolatok előkészítését, ezért először a megnyúlás irányára merőlegesen majd párhuzamosan orientált fluidzárvány próbacsiszolatokat készítettem erzsébetbányai (Băiut) nagyméretű (cm-es) tús antimonitból (5. ábra). A csiszolatok száma 8 melyeket végül 6 darab üveglapra ragasztottam fel pillanatragasztóval. A minták vastagsága 80 és 150 μm közötti és mind a két felük polírozott. A minták előkészítése Bailly et al. (2000) alapján történt. Miután az erzsébetbányai mintákon kitapasztaltam az antimonit csiszolásának és polírozásának menetét, valamint infravörös fényben való viselkedésüket, az asztagkői antimonit mintaelőkészítésére került sor. Az Asztagkövön található antimonit tüket ugyan nem tudtam orientálni, de a már megszerzett tapasztalattal sikeresen előkészítettem a mintákat az infravörös mikroszkópban való vizsgálatra. Az Asztagkőről összesen körülbelül 5 kilogramm mintából több mint 20 polírozott felszint készítettem el. Ezeknél ügyelve az antimonit helyzetére és mennyiségére a mintában (6. ábra). A csiszolás és polírozás után az előkészített minták felszínét reflexiós polarizációs mikroszkópban ellenőriztem, és meggyőződtem arról, hogy megfelelőek-e a további vizsgálatokra. A minták körülbelül felénél, (10 darab) az

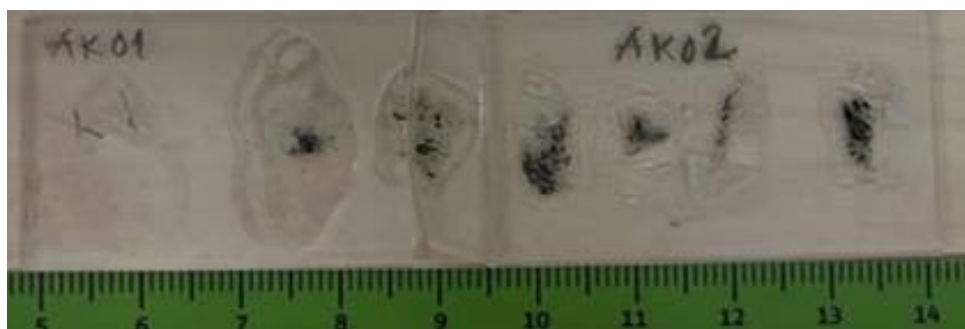
antimonit vékonysága, vagy elhelyezkedése miatt a tükörsima, fényesre polírozott felszín nem volt elérhető, ezekből a mintákból a meddőásványokban található zárványok vizsgálatára készültek csiszolatok (7. ábra). A teljes mintaszámot a 1. táblázatban szemléltetem.

Mintaszám	Lelőhely	Leírás	Tartalma	Megjegyzés
EB00	Erzsébetbánya	Próbacsiszolat	antimonit egykristály	megnyúlásra párhuzamosan orientált
EB01	Erzsébetbánya	Próbacsiszolat	antimonit egykristály	megnyúlásra párhuzamosan orientált
EB02	Erzsébetbánya	Próbacsiszolat	antimonit egykristály	megnyúlásra párhuzamosan orientált
EB03	Erzsébetbánya	Próbacsiszolat	antimonit egykristály	megnyúlásra párhuzamosan orientált
EB04	Erzsébetbánya	Próbacsiszolat	antimonit egykristály	megnyúlásra merőlegesen orientált
Asztag-kő1	Asztag-kő	vékonycsiszolat	meddőközet	
AK01	Asztag-kő	fluidzárvány csiszolat	érctartalmú breccsa	3 antimonit csokor
AK02	Asztag-kő	fluidzárvány csiszolat	érctartalmú breccsa	4 antimonit csokor
AK03	Asztag-kő	fluidzárvány csiszolat	érctartalmú breccsa	2 antimonit csokor
AK04	Asztag-kő	fluidzárvány csiszolat	érctartalmú breccsa	1 antimonit csokor
AK05	Asztag-kő	fluidzárvány csiszolat	érctartalmú breccsa	2 antimonit csokor
AK06	Asztag-kő	Polírozott felszín	érctartalmú breccsa	1 antimonit csokor
AK07	Asztag-kő	Polírozott felszín	érctartalmú breccsa	2 antimonit csokor
AK_D1	Asztag-kő	Polírozott felszín	érctartalmú breccsa	markazit dárdák
AK_D2	Asztag-kő	Polírozott felszín	érctartalmú breccsa	2 antimonit csokor
AK08	Asztag-kő	Polírozott felszín	érctartalmú breccsa	1 antimonit csokor
AK9	Asztag-kő	Polírozott felszín	érctartalmú breccsa	1 antimonit csokor
AK11	Asztag-kő	Polírozott felszín	érctartalmú breccsa	1 antimonit csokor
AK12	Asztag-kő	Polírozott felszín	érctartalmú breccsa	1 antimonit csokor
AK13	Asztag-kő	Polírozott felszín	érctartalmú breccsa	1 antimonit csokor
AK14	Asztag-kő	Polírozott felszín	érctartalmú breccsa	1 antimonit csokor
AK15	Asztag-kő	Polírozott felszín	érctartalmú breccsa	1 antimonit csokor
AK16	Asztag-kő	Polírozott felszín	érctartalmú breccsa	1 antimonit csokor
AK17	Asztag-kő	Polírozott felszín	érctartalmú breccsa	1 antimonit csokor
AK18	Asztag-kő	Polírozott felszín	érctartalmú breccsa	1 antimonit csokor
AK19	Asztag-kő	Polírozott felszín	érctartalmú breccsa	1 antimonit csokor
AK20	Asztag-kő	Polírozott felszín	érctartalmú breccsa	1 antimonit csokor

1. táblázat. A minták táblázata



5. ábra. Az erzsébetbányai antimonit egykristály csiszolatok megnyúlásra párhuzamos (EB00-03) és megnyúlásra merőleges (EB04) mind a két oldalán polírozott csiszolatai.



6. ábra. Az asztagkői dús antimonitból készült csiszolatok. *(Az asztagkői antimonit csiszolatokból készült a legtöbb minta, de azokat felhasználtam kvarc, illetve barit fluidzárványmérésekre is.)*

A kvarcban és baritban lévő fluidzárványokra fókuszáló csiszolatok vastagsága 80 és 150 mikrométer volt (6. ábra).



7. ábra. A barit és a kvarc fluidzárványaihoz készült csiszolatok. Baloldalon polírozás után, jobb oldalon mérés előtt

Polarizációs mikroszkópos petrográfiai vizsgálatok.

A petrográfiai ráeső és áteső fényes vizsgálatokat polarizációs mikroszkópban egy Nikon ALPHAHOT-2 YSS-en végeztem el, a vizsgálatok során $4\times$ $10\times$ $20\times$ és $40\times$ nagyítású objektíveket használtam. Az infravörös mikroszkópos vizsgálatok célja az volt, hogy az infravörös fényben átlátszó antimonit folyadékzárvány vizsgálatát elvégezhessem. Az infravörös vizsgálatokhoz Olympus MIRPlan típusú mikroszkópot és $5\times$, $10\times$, $50\times$ és $100\times$ nagyítású objektíveket használtam melyek az infravörös fényre vannak optimalizálva. Az objektívek adják át az infravörös fényt egy Hamamatsu C2400-03-as típusú CCD kamerának, a kamera észlelési hullámhossz tartománya $0,6\text{--}2,1\text{ }\mu\text{m}$. A kamera adja a képet, melynek

érzékenységét külön egy modemen lehet beállítani, ezt a fókuszállítás során, objektív váltás után, illetve fényerő változásához viszonyítva folyamatosan kalibrálni kell. A jelenségeket egy kamerához kötött sugárcsöves tévén és egy számítógéphez tartozó monitoron is megfigyeltük. A fotódokumentációt a számítógépen képernyő felvétellel lehetett megoldani.

Páztázóelektronmikroszkópos vizsgálatok

Az ELTE TTK Földrajz Földtudományi Intézet elektronmikroszkóp laboratóriumában található AMRAY 1830i, EDAX PV9800 típusú, INCA standardmentes energiadiszperzív rendszerrel felszerelt elektronmikroszkópot használtuk a polarizációs mikroszkópos petrográfiai vizsgálatok kiegészítéseként. A vizsgálatokhoz a minták 17nm vastag szénréteggel fettek legőzölve. A kémiai elemzéseket 20 kV gyorsítófeszültség mellett, 1 nA mintaárammal, 1 µm foltmérettel, 100 másodperces mérési idővel végeztük. A kémia méréseket követően katódlumineszenciás vizsgálatot is végeztünk. A műszert Biró Máté tudományos segédmunkatárs kezelte.

Fluidzárvány mikrotermometria

A folyadékzárványok mikrotermometriai vizsgálatát ELTE Ásványtani Tanszéken végeztem.

A folyadékzárvány mikrotermometriához egy Olympus BX51 mikroszkópot és egy Linkam FTIR 600 fűthető-hűthető tárgyasztalt használtunk. Mivel antimonitban és kvarcban fluidzárványokat nem sikerült lemérni csak baritban található fluidzárványokon végeztünk mikrotermometriai vizsgálatokat. A mikrotermometriai vizsgálatokat és a fluidzárvány petrográfiát Bodnar (1993) Bodnar et al., (1985) Kerhoff et al., (2001) alapján végeztük el.

Eredmények

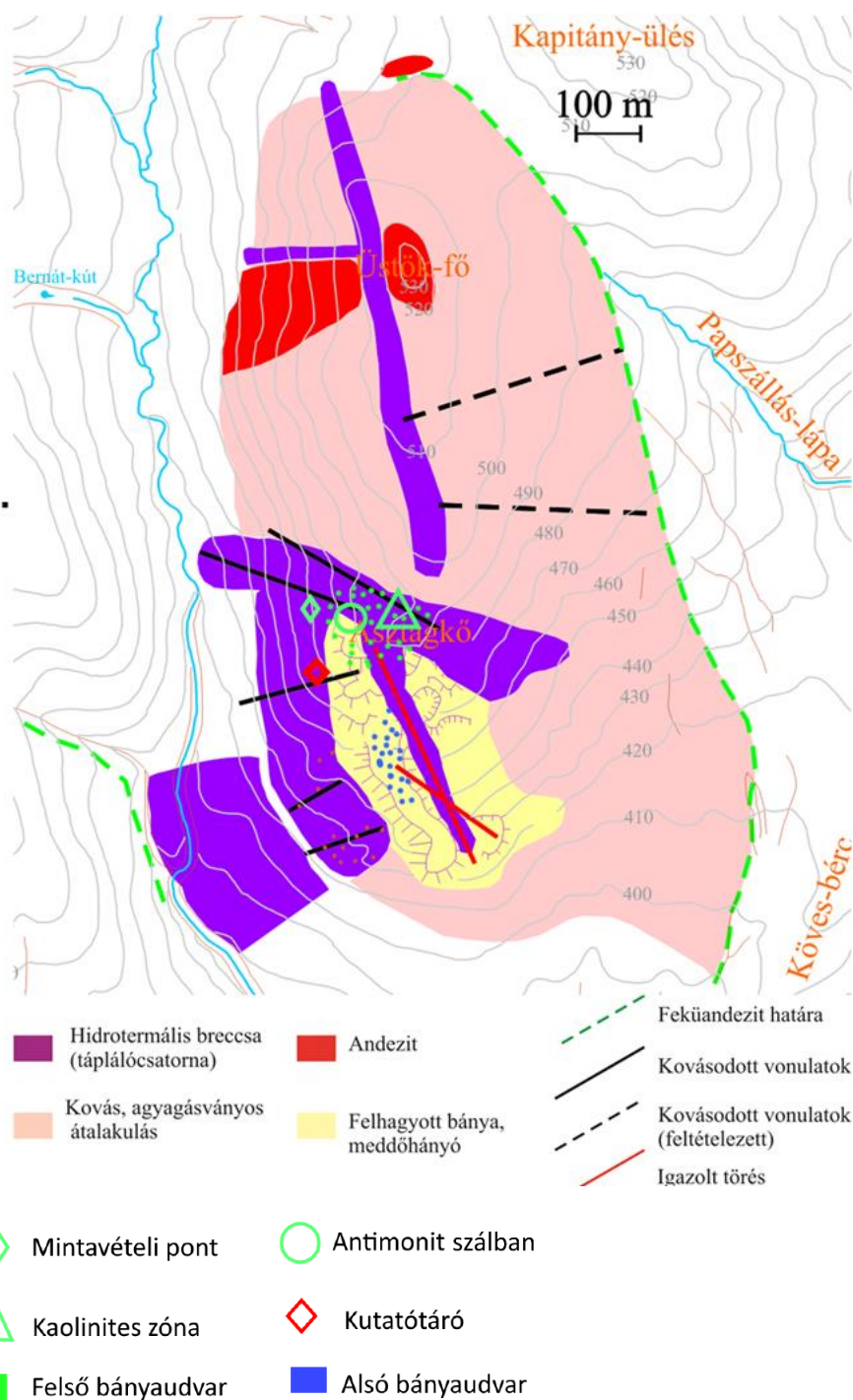
Terepi megfigyelések

Terepi munkám során az Asztagköre vezető útbevágásokban észleltem a hidrotermásan átalakult andezitet. A hidrotermás erekben sajátalakú barit kristályok, valamint tömeges kvarc a jellemző. Üde andezitet az Asztagkövön és közvetlen környezetében nem találtam.

Az antimonit tartalmú kőzet szálban (4. ábra) kőfejtő felső udvarában (8. ábra) található. Az antimonitot tartalmazó breccsa többnyire fehér színű klasztjai élesek és sarkosak, méretük a pár cm-től 10cm-ig változik. A klasztok kőzete finomkristályos kovaanyag melyet a szulfidfelhők esetenként szürkére színeznék. A breccsa üregeiben fennőt milliméter nagyságú antimonit tűk és apró kvarc jelenik meg. A breccsa mátrixát hidrotermás kvarc, barit és antimonit alkotják. Az érc tartalmú breccsa befogadó kőzete a feltárásokban nem változik, mindvégig kovás, hidrotermásan átalakult kőzetet észlelünk. A kőfejtő meddőjéből előkerült érc tartalmú anyag alapján a cinnabarit és antimonit tartalmú breccsazóna néhány méreten átfedheti egymást. A breccsa fenőtt antimonitot és nagy, több mint 8 centiméteres kalcedon és kovásodott kőzet klasztokat tartalmaz melyek között cinnabarit hintés van. Az antimonitot tartalmazó breccsazóna csapása ÉNy-DK-i melyre merőleges az alsó baritos udvarban mért ÉÉK-DDNy csapású vetőszik. A felső kőfejtőben körülbelül a két csapászóna metszéspontjánál található egy kaolinites elváltozási zóna, de a rossz feltártság miatt nehéz pontosan meghatározni a keresztezési pontot. A bányászat során nem foglalkoztak az érc tartalmú meddővel, így az antimonit tartalmú breccsa nagy részét meddő formájában az indikációtól északnyugatra, körülbelül 50 méterre, a meddőhányón (8. ábra) lehet részletesen vizsgálni. A dolgozatban felhasznált minták is innen származnak.



4. ábra. A felső bányaudvarban szálban álló antimonit tartalmú breccsa.



8. ábra. Az Asztagkő-Üstökfő nyékének földtani térképe terepbejárások eredményei alapján szerkesztett földtani térképe, kiegészítve a saját megfigyelésekkel Tóth (2011) után módosítva.

A felhasznált irodalomban sem a leírását, sem említését, nem találtam az Asztagkő lábánál kezdődő több 10m hosszúságú kutató tároról (8.ábra). Feltételezésem szerint az antimonitos zónát keresték vele, vagy a kovásodott test kiterjedését és minőségét kutatták. Valamint több

esetleges árkolást is azonosítottam. Egyet az Asztagkő tetején, egyet az antimonitot tartalmazó breccsa mentén, valamint számos másikat a bányaudvarok között, de ezek akár bicskabányák is lehetnek.

Petrográfiai vizsgálatok

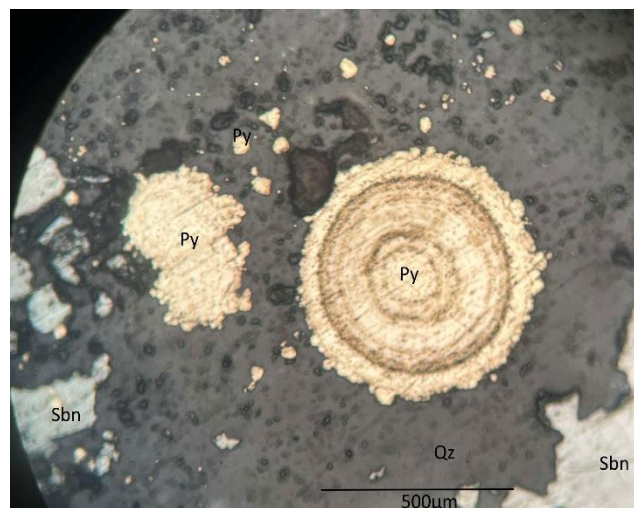
A breccsa befogadóköze (9. ábra) egy erősen kovásodott, hidrotermálisan elváltozott kőzet. Színe vajsárga mely esetenként pirit esetleg hematit utáni limonitosodott foltokat tartalmaz.

A nem breccsásodott befogadókőzetből készült polírozott vékonycsiszolatban megtalálható szintelen elegyrész a relikv kőzetalkotó kvarc, valamint a kovásodás során keletkezett hidrotermás kvarc, kalcedon, és agyagásványok. Színes elegyrész egyedül a limonitosodott pirit vagy hematit volt. A vékonycsiszolatban található ásványegyüttes alapján a befogadókőzet anyaga egy erősen átalakult, átkovásodott, és agyagásványosodott riolittufa.

Az érc tartalmú breccsát (10. ábra) reflexiós mikroszkópban polírozott felszínű mintákon vizsgáltam. A minták szövete alátámasztja a többszöri breccsásodást. A mátrixban található ásványok, a növekedési zónás kvarc, a táblás vagy léces barit, a tűs antimonit és a kolloform pirit. A klasztok közötti üregekben bennöt barit, antimon és hidrotermás kvarc alkotja a mátrixot, melyek összetartják a finomkristályos kvarc, kalcedon klasztokat.

A hidrotermás kvarc megjelenik az antimonittal együtt kikristályosodva, valamint az antimonit kristályon fennőve is. Az antimonit gyakran jelenik meg fennőve a breccsa üregeiben (11. ábra), illetve sajátalakú zárványként, baritban és kvarcban is megtalálható. Zárványként általában tűs halmazokat, első ránézésre bokrokat és csokrokat formál, de nem ritka egy-egy önálló tű megjelenése sem. A barit sajátalakú lécként, táblaként (12. ábra) kvarcon fennőve található meg. Mikroszkópban a szövet, az elektronmikroszkóp visszaszórt elektronképén pedig stroncium eloszlását tükröző szürkeárnyaltos képeken alapján kettő barit generáció különíthető el (13. ábra). A pirit különböző kristályformákat vesz fel (14. ábra), vannak sajátalakú köbös szemcsék, de a körkörös bekérgező, és hurkára hasonlító kolloform pirit is megjelenik. A pirit, a növekedési zónás kvarcon, abban és abban zárványként is megjelenik.

A breccsát egy hidrotermás érrendszer is átszövi, egyes klasztok falán megfigyelhető a hidrotermás kvarc, melyen antimonit, barit és pirit is megjelenik. Az érben a mátrixot alkotó ásványok töredékei is megfigyelhetők. A szövet alapján a 15. ábrán szereplő kiválási sort ábrázoltam, a normál vonal szövet alapján meghatározott, a pontozott vonal a feltételezett ásványkiválást jelzi.



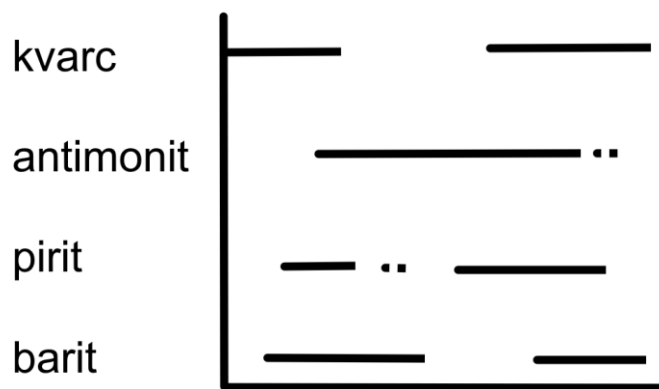
9. ábra. A breccsát befogadó kőzet.

10. ábra. A breccsa és a befogadókőzet határa

11. ábra. A breccsa üregeiben található sajátalakú antimonit, kék nyíllal jelölve.

12. ábra A breccsa üregeiben található átlátszó barit fekete nyíllal jelölve, és a mellette megjelenő antimonit egykristályok.

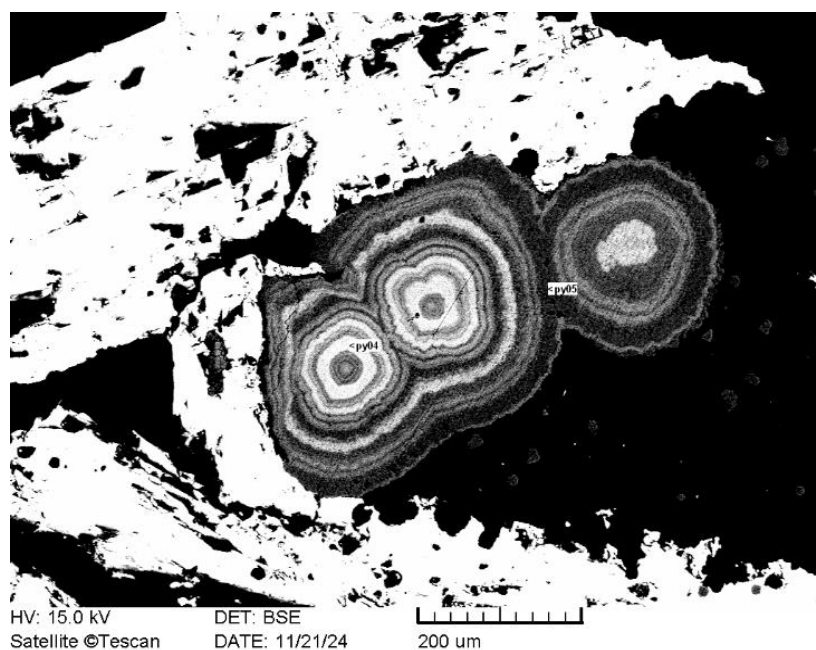
14. ábra. A pirit különböző megjelenései és antimonit reflexiók mikroszkópban.



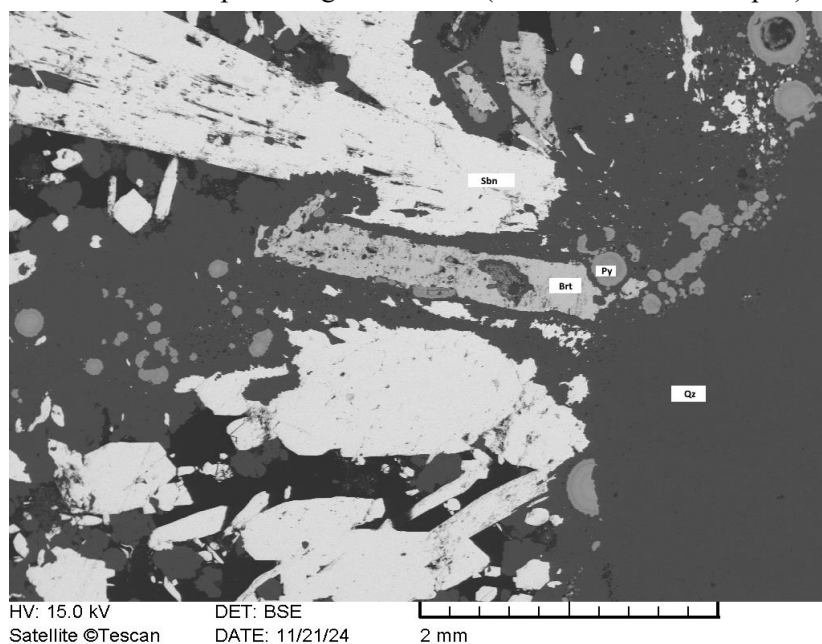
15. ábra A szövet alapján ábrázolt kiválási sor.

Megfigyelések pásztázó elektronmikroszkópban

Az AK06 mintában a kolloform piritet visszaszórt elektronkép (BSE) alapján vizsgáltuk (16.ábra) és ez alapján különítettük el zónáit. Az EDS (energiadisperzív röntgendetektor) mérések alapján a fényesebb rétegek antimonban dúsulnak, míg a halványabbak arzén-dúsabbak. A mintában található antimonit arzéntartalma kimutatási szint alatt volt, az arzén csak a piritben dúsul. Az ásványok szövetbeli elhelyezkedését a 17.ábrán szemléltetem.

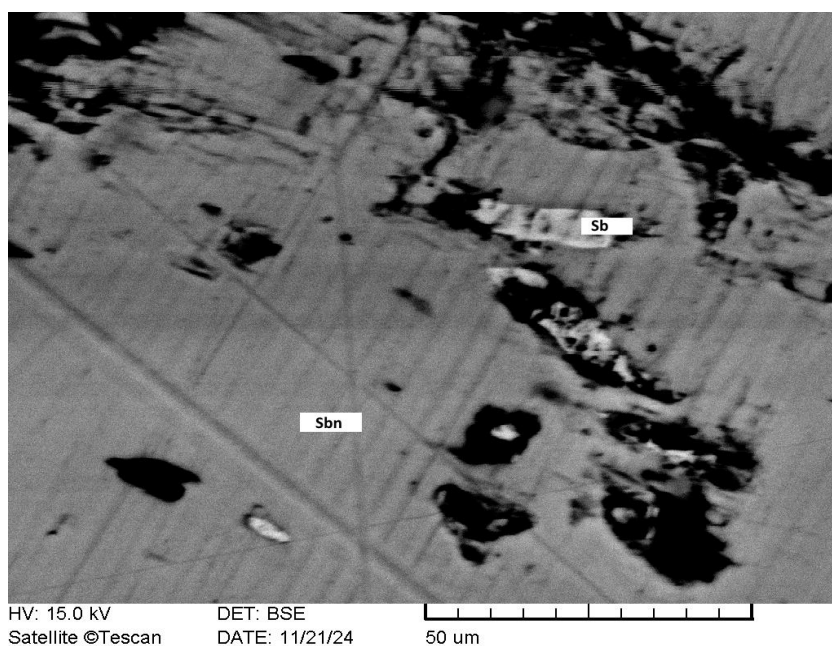


16. ábra. A kolloform pirit rétegi SEM-BSE (visszaszórt elektronképen) képen.

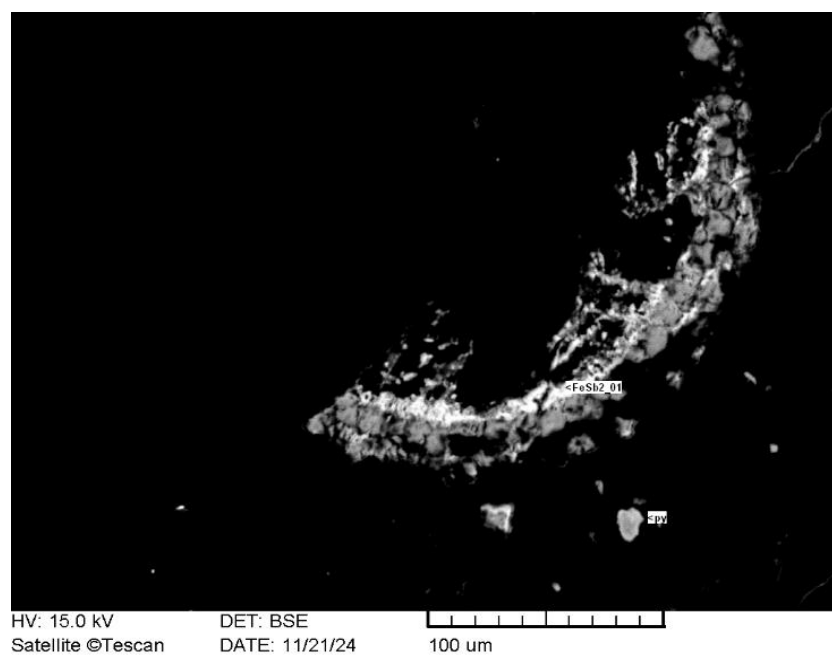


17. ábra. Az antimonit és a pirit szöveti elhelyezkedése alapján, valamint a pirit arzéntartalma alapján a két ásvány egyszerre, valamint egymás után is képződött változatosan.

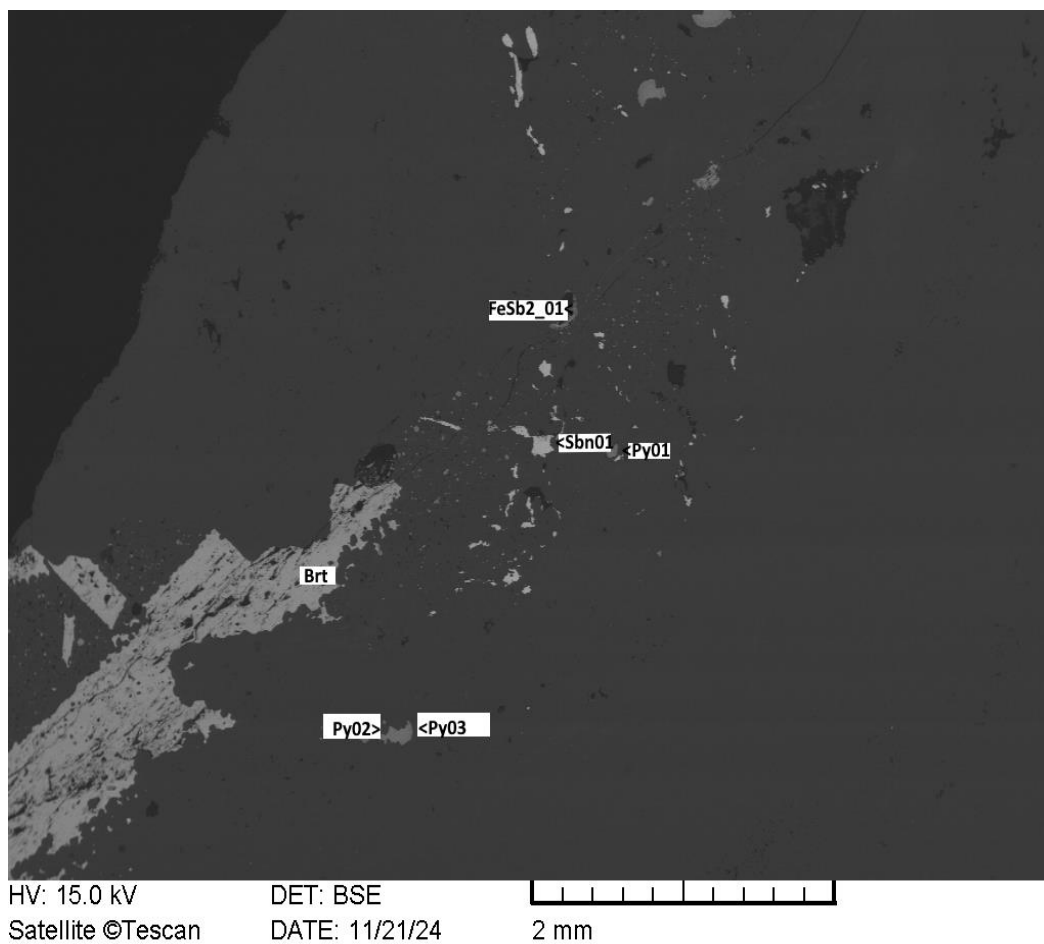
Korábban az Asztagkövön még nem ismert ásványfázis is azonosításra került a pásztázó elektronmikroszkópos megfigyelések révén, az antimonitban zárványként termésantimont Sb azonosítottunk (18.ábra). A 19. ábrán két vas-antimon fázist is azonosítottunk egyike SbFe-oxidos fázisban található míg a másik egy SbFe-szulfidos fázisban. Képletszámolás alapján az előbbi schafarzikit az utóbbi pedig seinäjokit lehet. A kőzet szövetében kristályalak nélkül egyfélékört alkotva jelennek meg pirit mellett, megjelenésüket a 20. ábrán szemléltetem.



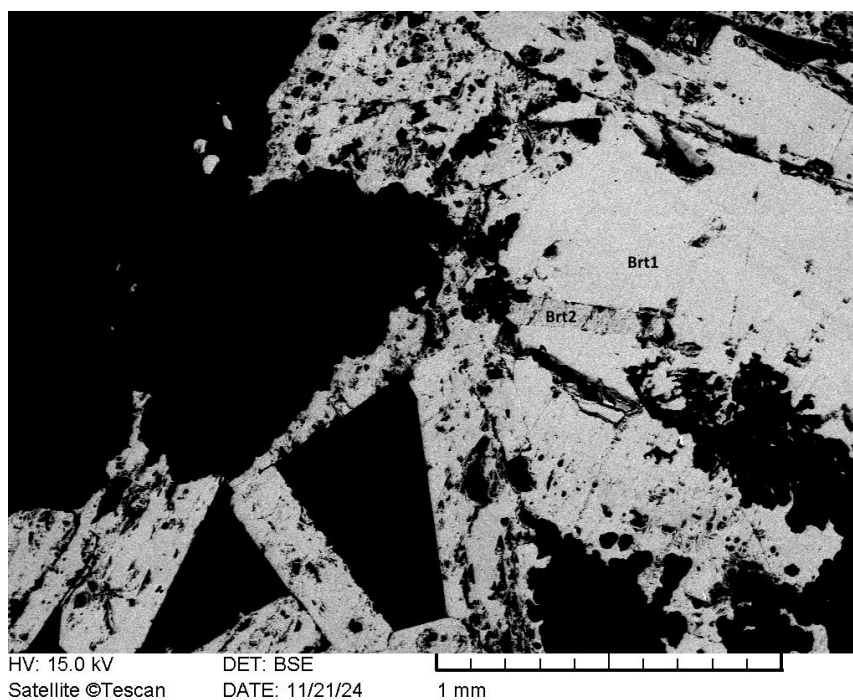
18. ábra. Az antimonitban található hosszúkás, de tömzsi alakú termésantimon zárvány BSE képe.



19.ábra. Vas-antimon fázisok elhelyezkedése BSE képen

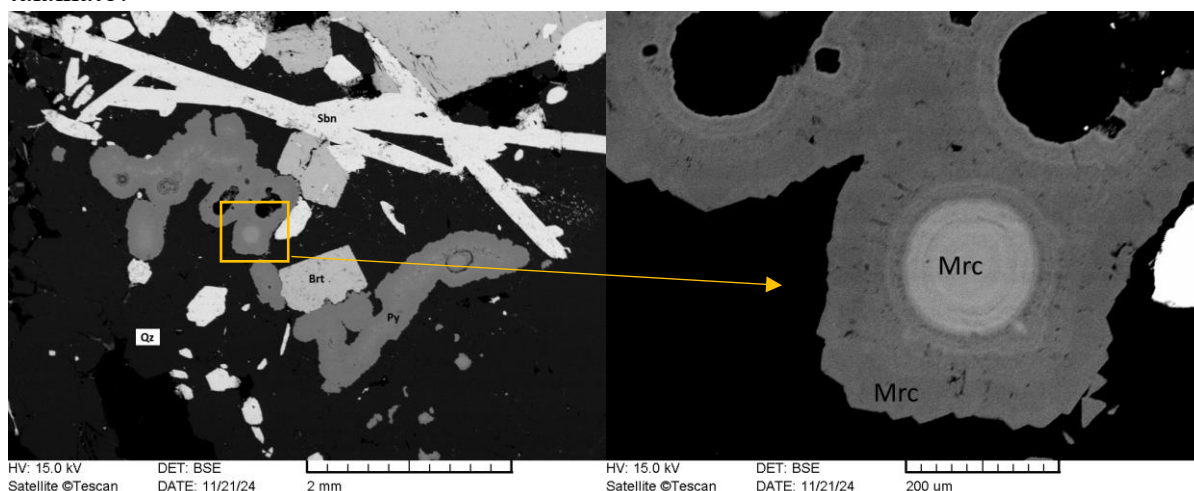


10. ábra. A különböző fázisok elhelyezkedése a szövetben



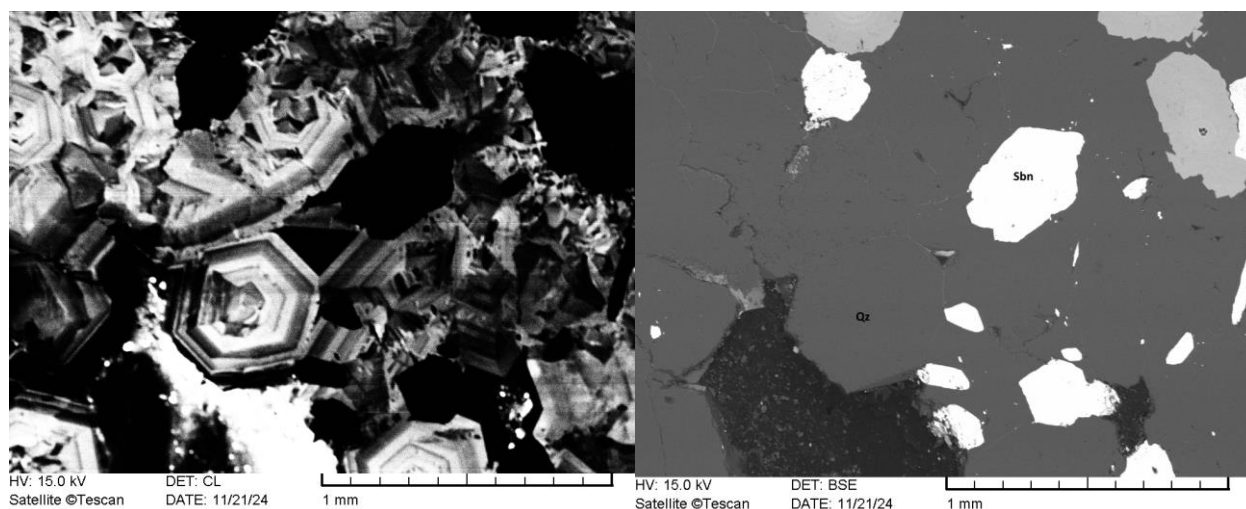
13. ábra. A két generációs barit A sötétebb barit (Brt2) Sr tartalma magasabb.

Az AK_D1 mintában vékony antimon tűk, pirit és barit összenövések mellett különös jelenségre lettünk figyelmesek. A hurkaként megjelenő pirit szélei és az azok mellett található pirit (21. ábra) a markazitra jellemző dárdás kristályalakot mutatja. A jelenséget SEM-BSE képen is megfigyeltük majd EDS mérést is végeztünk az adott szemcséken. Az EDS mérés az arzéntartalom csökkenését mutatta az egykristályokon, valamint a pirit, esetleg markazit kristályos szélén is. Az EDS mérések után reflexiós mikroszkópban a markazitra jellemző reflexiós pleokroizmust és anizotrópiát figyeltünk meg, ami alátámasztja a dárdák markazitként való azonosítását. A jobboldali képen látható markazit közepén egy antimondús rétegzett mag található.



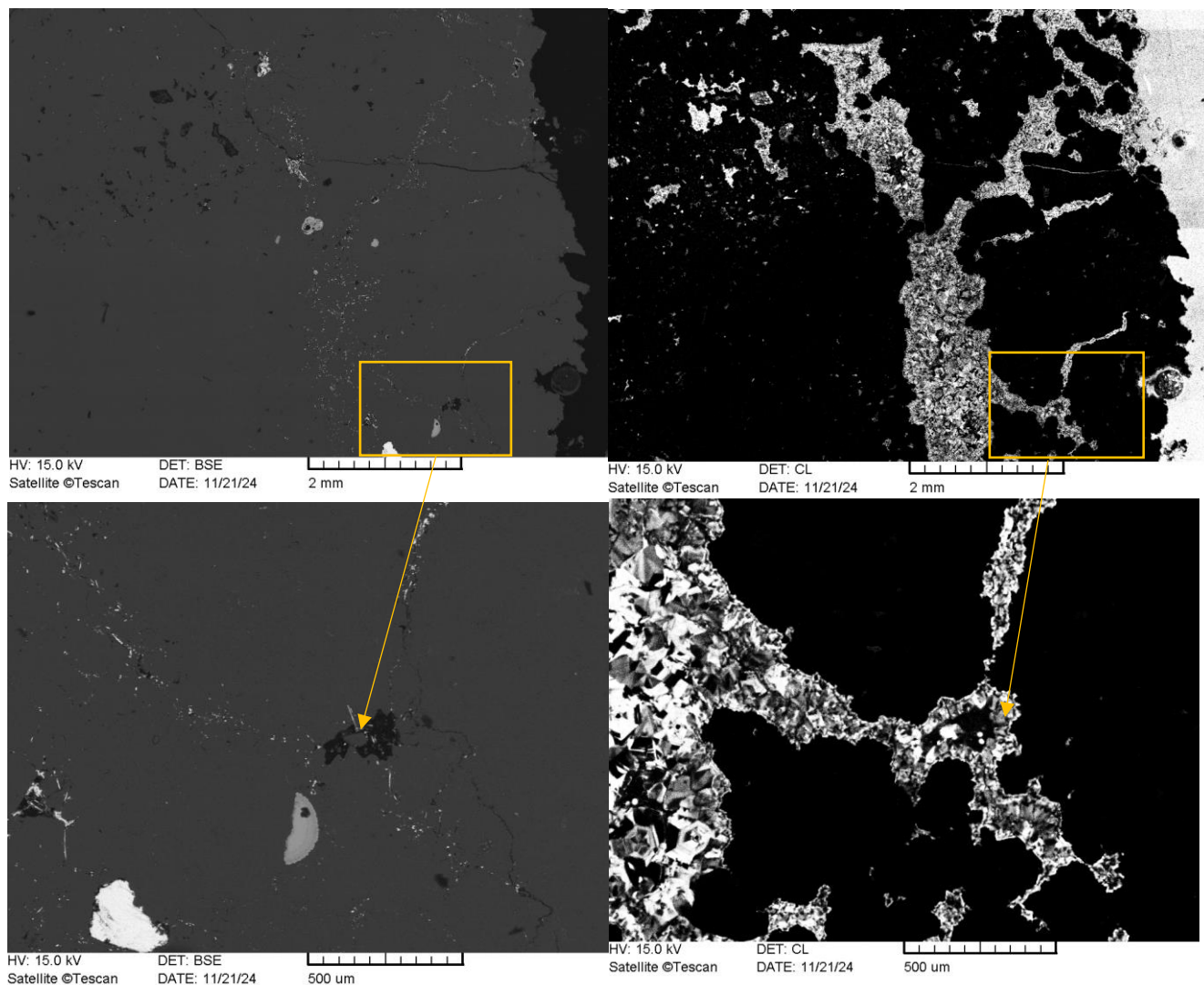
21. ábra. AK_D1 mintában található markazit

A hidrotermás kvarc és a barit lehetséges fluoreszcenciája miatt katódlumineszcenciás vizsgálatot is végeztünk. A breccsát cementáló hidrotermás hexagonálisnak látszó kvarc növekedési zónái kivehetőek a katódlumineszcenciás képen (22. ábra), valamint azonosíthatók a mikrotörések melyek másodlagos fluidzárványokat tartalmazhatnak.



22. ábra, AK_D1 minta egyazon területének CL (bal) és BSE (jobb) képe egymás mellett.

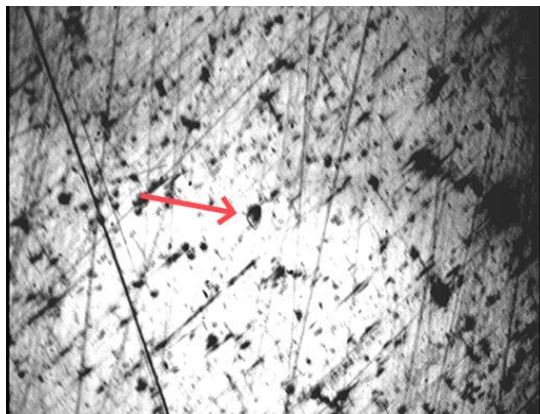
Az AK07 mintában CL kép segítségével leköveltük a hidrotermás ereket melyeket a BSE képen is sikerült azonosítani (23.ábra) a bennük lévő antimonit töredékek, egykristályok, valamint barit és a pirit segítségével.



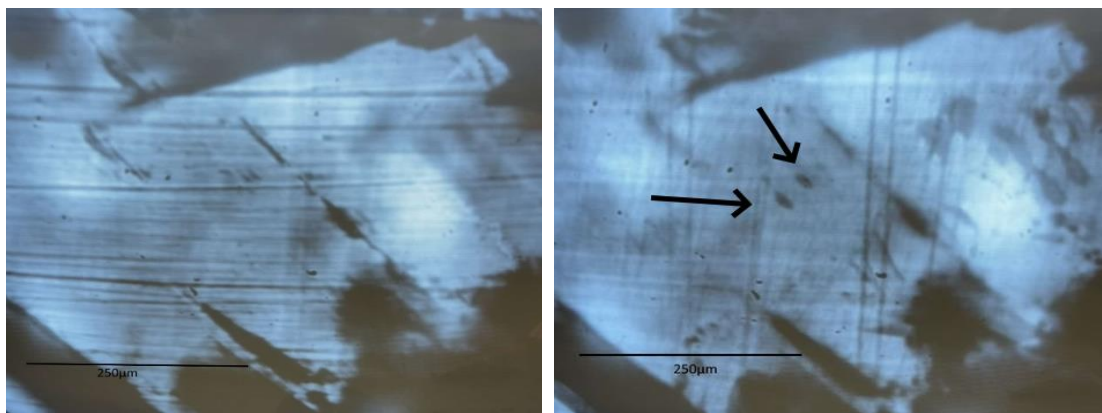
23. ábra Az AK07-es mintán történt erek lekövetése, ugyanazon területek BSE és CL képe (baloldalon a BSE, jobb oldalon a CL képek).

Infravörös mikroszkópia

Az Erzsébetbányáról származó antimonit már nagyobb 180 mikrométer vastagságnál is átlátszó volt infravörös fényben (24. ábra). Ez köszönhető volt az orientálásának, mivel a megnyúlással párhuzamosan polírozott felszínű minták átláthatósága jelentősen jobb volt, mint a megnyúlásra merőlegesen polírozott mintának. Továbbá az egykristályok nagyobb, több centis hosszúsága és akár 4mm vastagsága segítette mind a csiszolás mind polírozás pontosságát. Az Asztagkőről származó antimonitok többnyire 80-130 mikrométer között érték el az infravörös mikroszkópban a jó átláthatóság mértékét (25.ábra). Ezeket a polírozás változó minőségére és az orientáció hiányának tudjuk be. Fluidzárványok tekintetében az erzsébetbányai antimonitban 1 darab (24.ábra) fluidzárvány került azonosításra, míg az asztagkői antimonitban több zárványt is azonosítottunk. azonban ezek kis méretük sötét és vastag körvononaluk miatt mikrotermometriai vizsgálatra alkalmatlanok voltak (25.ábra). Az 25.ábrán az antimonit kettős törése is megfigyelhető.



24. ábra. Erzsébetbányáról származó antimonitban található fluidzárvány piros nyíllal jelölve. (Méretarány azért nincs mert kidurrant a zárvány és mérésre nem került sor.)

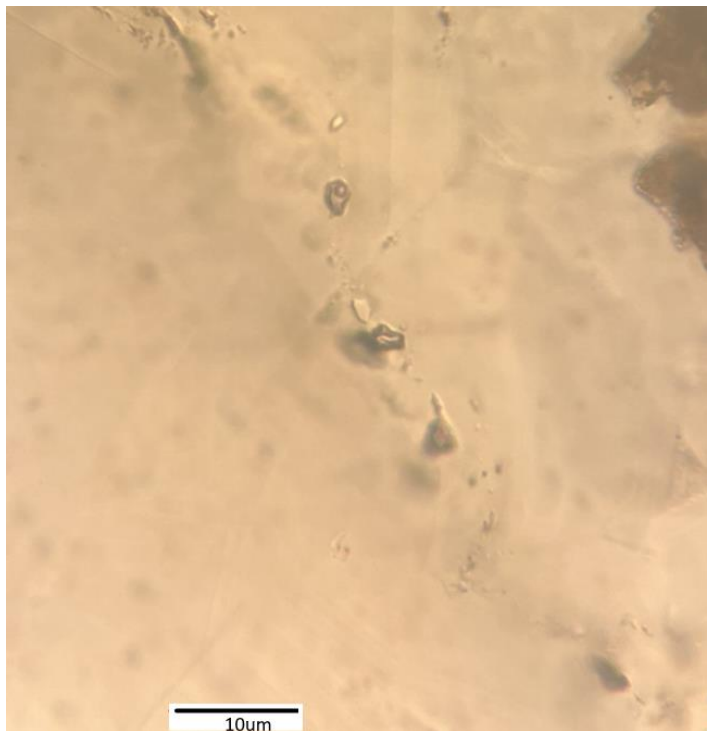


25. ábra. Az asztagkői antimonit átláthatósága két fókusz távolságban, fekete nyíllal jelölve a fluidzárvány helyzete.

Fluidzárvány petrográfia

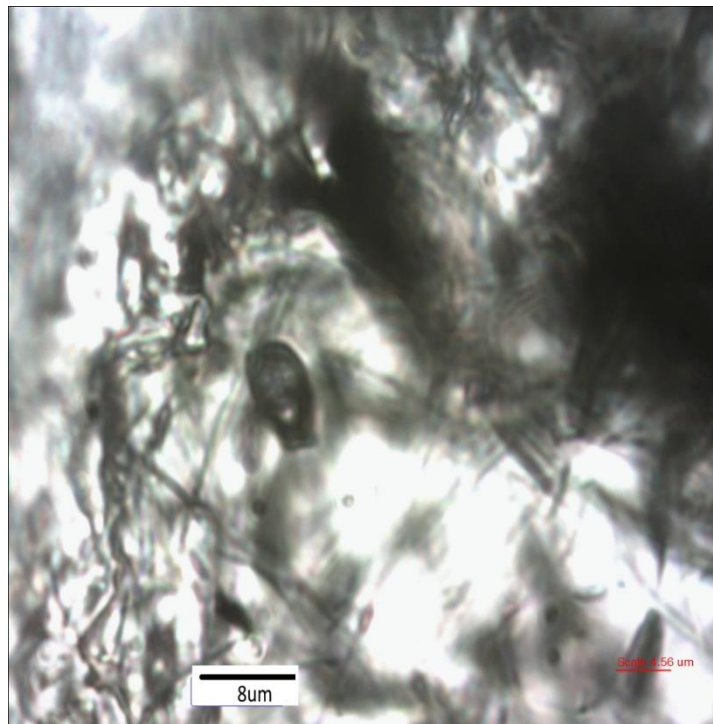
A hidrotermás kvarcban található zárványok több mint 80%-a kvarc vagy barit szemcse. Ez azért jelenthet problémát mert két szilárd zárvány egymás fölött való megrekedése megtéveszthet minket. A két szemcse törésmutatója és kontúrja pont olyan lesz, mint egy kétfázisú, folyadék és gázfázist tartalmazó (L+V) fluidzárványé.

A kvarcban található kétfázisú (L+V, azaz folyadék+gáz) fluidzárványok három szöveti-genetikai típusba sorolhatóak. Primer, elsődleges zárványokat növekedési zónák mentén lehet megfigyelni (26. ábra), méreteik 1 és maximum 4 mikrométer közöttiek. Elkülönítettünk ismeretlen kialakulású zárványokat melyek a kvarc magjában vagy két növekedési zóna között helyezkednek el, méreteik esetenként meghaladták a 4 mikrométert. A 3. típusba a másodlagos (behegedt repedésekben előforduló) zárványok tartoznak. E típusból volt a legkevesebb és méretük nem haladta meg a 2 mikrométert.

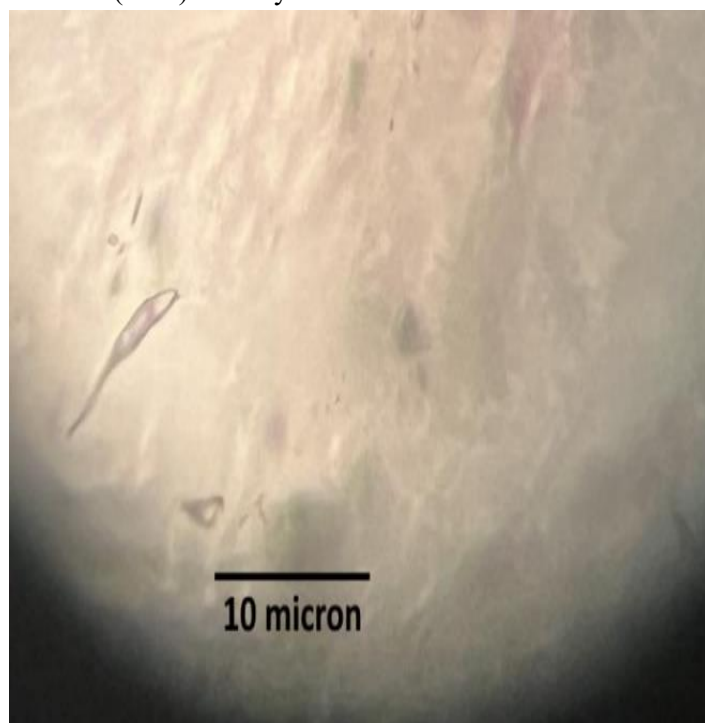


26. ábra. A kvarc növekedési zónájában található primer 2 fázisú zárványok.

A baritban található folyadékzárványok közül, két típust különítettünk el. Kétfázisú (L+V), primer (27.ábra), valamint másodlagos, szinte minden esetben lefűződött zárványokat. A lefűződött zárványok tipikus megjelenése a mintában a hosszú elnyúló alak (28.ábra), és általában nagy gőzfázis. A lefűződött zárványok aránya az elsődleges zárványokhoz képest körülbelül 15:1-hez.



27. ábra. Elsődleges kétfázisú (L+V) zárvány antimonit-tüskéket tartalmazó baritban.



28. ábra. Lefűződés jeleit mutató kétfázisú zárványok baritban.

A kvarcban található folyadékzárványok kis mérete miatt megbízható mikrotermometriai vizsgálatot nem sikerült elvégezni rajtuk.

Mind a kvarcban, mind a baritban megfigyelhető, hogy az összes zárványtípus asszociációiban a folyadékzárványok gőzfázisának térfogata széles határok között mozog, 10-20 becsült tf% minimum értékkel. Az elsődleges zárványok esetében e változékonyság arra utal, hogy a zárványok csapdázódásakor, azaz a kvarc-barit-antimonit ásványegyüttes képződésekor a

hidrotermális oldatok heterogén fázisállapotban voltak. A másodlagos zárványok esetében a gyakori lefűződési jelenségei miatt, ez nem állapítható meg egyértelműen.

Folyadékzárvány mikrotermometria

A kvarcban található folyadékzárványok kis mérete miatt megbízható mikrotermometriai vizsgálatot nem sikerült elvégezni rajtuk.

A barit elsődleges folyadékzárványaiak mikrotermometriai vizsgálatát 3 csiszolaton és 14 zárványon végeztük el. A hevítéses (homogenizációs) vizsgálatokat a lehető legkisebb gázfázis-térfogatú folyadékzárványokon végeztük el, annak érdekében, hogy a heterogén (felforrt) rendszerben gyakori inhomogén befogódás hatását a homogenizációs hőmérsékletre minimalizáljuk. A mikrotermometriai vizsgálatok eredményét a 2.táblázat foglalja össze.

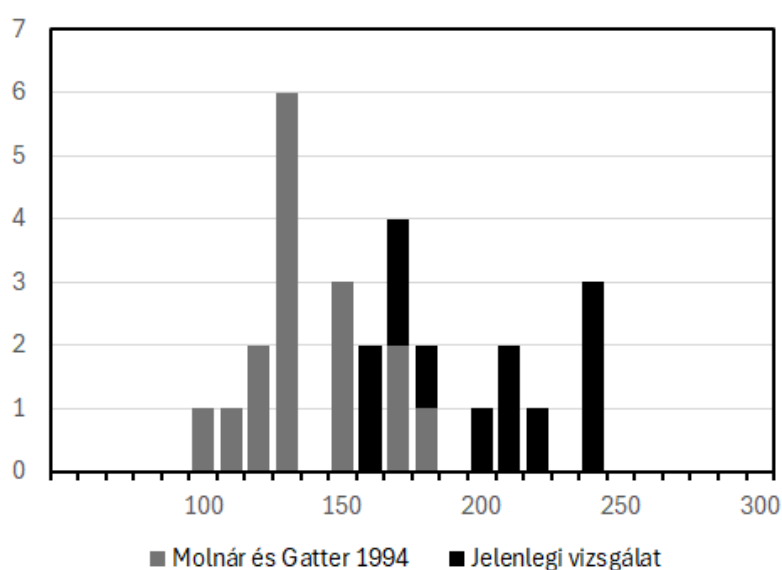
Zárvány száma	homogenizáció (°C)	jég ovadása(°C)	NaCl.wt%(Bodnar 1993) alapján
1	219	-1,3	2,24
2	243	-0,2	0,35
3	165		
4	182		
5	211	-1,2	2,07
6	170	-4,6	7,31
7		-3,3	5,41
8	175	-2,3	3,87
9	160	-3,3	5,41
10	208	-2,6	4,34
11	210	-1,9	3,23
12		-1,3	2,24
13	240	-1,5	2,57
14	246	-1,3	2,24

2. táblázat. A baritban mért fluidzárványok mikrotermometriai adatai és számított sótartalma NaCl-H₂O fluidumösszetétel-modell alkalmazásával.

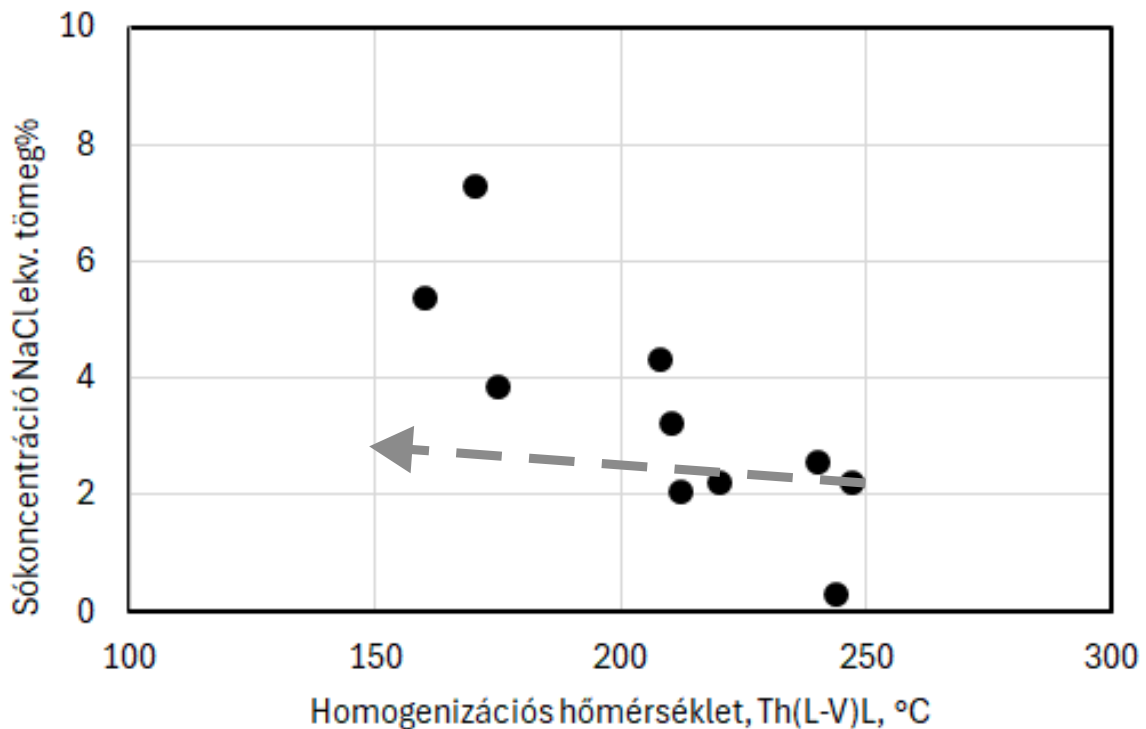
A folyadékfázisban történt homogenizációk hőmérsékleti értékei kétmaximumos eloszlást mutatnak 200-250 és 160-180 °C közötti gyakorisági maximumokkal (29. ábra). A kisebb hőmérsékletű gyakoriságú maximum megegyezik az Asztagkő alsó (baritos) bányaudvarából származó barit kristályok elsődleges folyadékzárványainak egy generációjával. Az utóbbi lelőhelyen azonban egy kisebb hőmérsékletű (100-140 °C) zárványgeneráció, míg az

antimonitos breccszazónában egy nagyobb hőmérsékletű zárványgeneráció is azonosítható (29. ábra).

A homogenizációs hőmérsékletek széles intervallumú, többmaximumos szóródása elvileg utalhat arra, hogy a heterogén fázisállapotú hidrotermás rendszerből inhomogén módon csapdázódtak a zárványok fluidumai. Azonban, ha megvizsgáljuk azt, hogy a jelenlegi vizsgálatok által dokumentált folyadékzárványok sótartalma hogyan változik a homogenizációs hőmérséklet függvényében (30. ábra), akkor ezt a lehetőséget kizárhatjuk. A 30. ábrán ugyanis egy jól meghatározott koncentráció-növekedési trend rajzolódik ki a zárványok homogenizációs hőmérsékletének csökkenésével párhuzamosan.



29. ábra. Az antimonitos breccsa barit kristályainak elsődleges folyadékzárványainak homogenizációs hőmérséklete (jelenlegi vizsgálat) és az Asztagkő alsó (baritos) bányaudvarából származó baritkristályokban mért homogenizációs hőmérsékletek (Molnár és Gatter, 1994) összehasonlítása.



30. ábra. Az antimonitos breccaszóna baritjában előforduló elsődleges folyadékzárványok sókoncentrációjának változása a homogenizációs hőmérséklet függvényében. A szaggatott nyíl a hidrotermás fluidum adiabatikus felforrása esetén várt koncentráció-változást mutatja.

A rendszerben történő fázisszeparációt és annak egyenletét R. W. Henley, et al (1984a) R. W. Henley, et al (1984b) és R. W. Henley, et al (1984c) szerint írtam fel és használtam. A hidrotermális fluidumok heterogenizációja (felforrása) lényegében egy nagyhőmérsékletű párolgási folyamat, mely során a gőzfázis fejlődése hőt von el a folyadékfázistól, miközben a folyadékfázis sótartalma megnövekszik (mivel az oldott sók csak elhanyagolható mértékben távoznak a gőzfázisba). Adiabatikus felforrási modell esetén a kiindulási homogén rendszer adott hőmérsékletre vonatkoztatott entalpiája megegyezik a heterogén, kisebb hőmérsékletű heterogén rendszer megmaradó folyadékfázisának és képződő gőzfázisának össz-entalpiájával:

$$H_{fk} = y H_{gv} + (1-y) H_{fv}$$

ahol

H_{fk} = a folyadékfázis entalpiája a felforrás kezdetekor (T és összetétel függvénye!)

H_{gv} = a képződő gőzfázis entalpiája a felforrás végén

H_{fv} = a maradék folyadékfázis entalpiája a felforrás végén

y – a keletkező gőzfázis-frakció mennyisége

A kiindulási állapotnak a 28. ábrán körvonalazódó 250°C-os hőmérsékletet, míg a végállapotnak a 150°C-os hőmérsékletet figyelembe véve, a víz entalpiaértékeit behelyettesítve az egyenlet megoldható y-ra, azaz:

$$1085 = y \cdot 632 + (1-y) \cdot 2746$$

$$y = 0,21$$

Tehát a kiindulási homogén folyadékfázis 21%-a alakul gőzzé. Amennyiben a kiindulási sókoncentrációt (ck) 250 °C-on 2 NaCl equiv. tömeg %-nak vesszük (30. ábra), akkor a 150 °C-os végállapotban a folyadékfázis sókoncentrációja (cv):

$$cv = ck/079$$

azaz

$$cv = 2,53$$

Az ennek megfelelő várt trendet a 30. ábrán a szaggatott vonalú nyíl jelzi. Megállapítható, hogy a folyadékzárványokban a homogenizációs hőmérséklet-csökkenést kísérő koncentráció növekedés nem követi az adiabatikus felforrási modell alkalmazásával várt eredményt. A sokkal jelentősebb koncentráció-emelkedést két tényező magyarázhatja:

1. Kishőmérsékletű, nagy sókoncentrációjú oldatok keveredése a hidrotermális fluidumokkal;
2. Nem-adiabatikus, ismétlődő felfűtésekkel működésben tartott permanens felforrás, mely csaknem teljesen elpárologtatja a hidrotermális fluidumokat.

Az 1. lehetőség csak akkor képzelhető el, amennyiben nagy sókoncentrációjú, mélymedence eredetű fluidumok áramlottak be a sekély-mélységű hidrotermás rendszerbe. Ez azonban kevésbé valószínű, mivel 6-8 súlyszázalékos mélymedence fluidumok eredete több kilométeres mélységűnek kell lennie. A 2. lehetőség viszont összhangban van egy pulzáló, vulkanizmus hőhatása által többször felfűtött, az ásványok gyors kicsapódása révén többször félig elzáródó, félig újranyíló hidrotermális fluidáramlási rendszerrel.

Összefoglalás, következtetések

Az asztagkői ércindikáció antimonitos breccsájának vizsgálata a múltbeli kutatások és feldolgozások ellenére új információkkal járult hozzá az ércindikációt kialakító folyamatok ismeretességéhez. A minták szövete alapján antimonit, barit, kvarc és pirit is képződött egyszerre. SEM-EDS-sel antimon és vastartalmú fázisokat sikerült azonosítani, valamint SEM-BSE-EDS mérés használatával termésantimont is azonosítottunk mely az Asztagkőről eddig még nem került leírásra. SEM-EDS mérés kimutatta a pirit zónásságának az okát, ami az antimon és az arzén tartalom változásán alapul. Az arzén csökkenésével, ha nincs antimon, ami beépülne a pirit mellett megjelenhet a kristályos markazit is. BSE és CL képek alkalmazásával az hidrotermás erek lekövethetők a breccsa kőzeteiben, a hidrotermás kvarcok zónásságot mutatnak, és a kettő barit generációja Sr tartalom és szövet alapján is elkülöníthető.

Az asztagkői antimonit infravörös fényben átlátszóvá tehető, és fluidzárványokat is tartalmaz azonban azok mikrotermometriai vizsgálata a kis méreteik miatt nem volt kivitelezhető. Az antimonittal együtt kristályosodó kvarc zárványai főleg szilárd fázisúak, a fluidzárványok méretei maximum 5 mikrométer nagyságúak. A barit sok a lefűződött és nagy gázfázisokat tartalmazó fluidzárványt is tartalmaz, melyek szintén alkalmatlanok mikrotermometriai vizsgálatokra. Az Asztagkőről korábban publikált fluidzárvány adatokat ebben munkával található adatokkal összevetve kimondható, hogy az alsó és felső bányaudvari baritban található elsődleges fluidzárványok egyes generációja azonos. A mikrotermometriai vizsgálatok adataiból egy olyan hidrotermás rendszert lehet lemodellezni, ahol egy pulzáló vulkanizmus többször felfűtötte a rendszert. A rendszerben történő gyors ásványkiválások miatt a rendszer többször félig elzáródott majd félig újra kinyílt működése során. E modellt szintén alátámasztja az ásványok oszcillációs zónássága és a többszöri breccsásodás.

Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni témavezetőmnek Dr. Molnár Ferencnek az odaadó munkáját és segítségnyújtásul adott széleskörű tudását a témában. Szeretném megköszönni Baloghné Dr. Kiss Gabriellának a mintaelőkészítés során felmerülő problémákban való segítségét és biztatást.

Forrásjegyzék

Bailly, Laurent & Bouchot, Vincent & Bény, Claire & Milesi, Jean-Pierre. (2000). Fluid inclusion study of stibnite using infrared microscopy: An example from the Brouzils antimony deposit (Vendée, Armorican massif, France). *Economic Geology*. 95. 221-226. 10.2113/gsecongeo.95.1.221

Bíró, I. és Vető Istvánné (1981) Magyar Állami Földtani Intézet. Levéltári kézirat.

Bodnar, Robert & Reynolds, T.J. & Kuehn, C.A.. (1985). Fluid inclusion systematics in epithermal systems, in Berger, B.R., and Bethke, P.M., eds., *Geology and Geochemistry of Epithermal Systems*. *Reviews in Economic Geology*. 2. 73-97.

Bodnar, R. J. (1993). Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions. In *Geochimica et Cosmochimica Acta* (Vol. 57, Issue 3, pp. 683–684). [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(93\)90378-A](https://doi.org/10.1016/0016-7037(93)90378-A)

Csongrádi, J. (1982). EPI-TELETERMÁLIS H G-S B INDIKÁCIÓ AZ ASZTAG-KŐ-USTOK-FŐ KÖRNYÉKÉN. Földtani jelentés az 1982-évről

Csongrádi, J. (1984). Hidrotermális közetelváltozások és színesfém-eloszlás a gyöngyössolymosi üstökfői higany-indikációs zónában. *Földtani Közlöny*, 114(1), 113–121.

Molnár, F., & Gatter, I. (1994). Comparative mineralogic-genetic studies of sedimentary and hydrothermal barite crystals from Hungary Magyarországi üledékes és hidrotermás baritkristályok összehasonlító ásványtani-genetikai vizsgálata. *Földtani Közlöny*. 124. 43-57

R. W. Henley, A. H. Truesdell, P. B. Barton, Jr., J. A. Whitney (1984a) "Appendix III: Steam Tables — Thermodynamic Data for Water at Saturated Vapor Pressures and Temperatures", *Fluid-Mineral Equilibria in Hydrothermal Systems*, Society of Economic Geologists, *Reviews in economic geology* volume 1 <https://doi.org/10.5382/Rev.01.a3>

R. W. Henley, A. H. Truesdell, P. B. Barton, Jr., J. A. Whitney (1984b) *Fluid-Mineral Equilibria in Hydrothermal Systems* Society of Economic Geologists, *Reviews in economic geology* volume 1 <https://doi.org/10.5382/Rev.01> ISBN-10: 0961307404 ISBN (electronic): 9781629490083

R. W. Henley, A. H. Truesdell, P. B. Barton, Jr., J. A. Whitney (1984c) "Introduction to Chemical Calculations", *Fluid-Mineral Equilibria in Hydrothermal Systems* Society of Economic Geologists, *Reviews in economic geology* volume 1 <https://doi.org/10.5382/Rev.01.01>

Siklóssy S. (1977) Gyöngyösoroszi és környékének szerkezeti értékelése Földtani Közlöny 107. köt. 3-4. sz. (1977.) 348-357. oldal

Szurovy, G. (1940) Ásvány-kőzettani megfigyelések a Mátra-hegység déli részéből. Kézirat

Tóth Zs. (2011). Msc Szakdolgozat A neogén Mátra sekély mélységű hidrotermás rendszere: az Asztagkő és környéke

Van den Kerkhof, A. M., & Hein, U. F. (2001). Fluid inclusion petrography. Lithos, 55(1–4), 27–47. [https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(00\)00037-2](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(00)00037-2)

Varga, Gy., Csillagné, Teplanszky, E., Felegyházi, Zs. (1975) A Mátra hegység földtana Földtani Intézet Évkönyve 57 (1)

Vargáné Máthé K. (1961) A Gyöngyössolymos környéki kovásodott kőzetek eredetéről A Magyar Állami Földtani Intézet évi jelentése 1. sz. (1961.) 461-467. oldal

Vidacs A. (1961) A Mátrahegység részletes ércföldtani vizsgálata A Magyar Állami Földtani Intézet évi jelentése 1. sz. (1961.) 419-428. oldal