



MISKOLCI EGYETEM
MŰSZAKI FÖLDTUDOMÁNYI KAR



**TOXIKUS FÉMEK DÚSULÁSAI ÉS AZOK FÖLDTANI
HÁTTERE TOKAJI-HEGYSÉGI REKULTIVÁLT
HULLADÉKLERAKÓ-HELYEKEN**

TDK DOLGOZAT

MAJOROS LÍVIA

ME-MFK, MŰSZAKI FÖLDTUDOMÁNYI ALAPSZAK

II. ÉVFOLYAM

TÉMAVEZETŐ:

DR. SZAKÁLL SÁNDOR

ME-MFK, ÁSVÁNY- ÉS KÖZETTANI INTÉZETI TANSZÉK

MISKOLC, 2014. OKTÓBER 27.

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS.....	1
2. KUTATÁSTÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉS	2
3. TOKAJI-HEGYSÉGI KOVÁS KÉPZŐDMÉNYEK ÁSVÁNY-KÖZETTANI HÁTTERE	8
4. A FÖLDTANI KÖZEG ÁLLAPOTÁRA ÉS A TOXIKUS ELEMekre VONATKOZÓ KORMÁNYRENDELETEK.....	10
5. TEREPEBJÁRÁS.....	13
5.1. A MINTÁK MAKROSZKÓPOS LEÍRÁSA	15
6. MINTA-ELŐKÉSZÍTÉS.....	18
6.1. FELÜLETI CSISZOLAT ELKÉSZÍTÉSE SEM-EDS VIZSGÁLATRA.....	18
6.2. PORÍTÁS XRD-VIZSGÁLATRA	19
7. MŰSZERES VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI	20
7.1. SEM-EDS VIZSGÁLATOK.....	20
7.2. XRD-VIZSGÁLATOK	35
7.3 A REKULTIVÁCIÓ KIVITELEZÉSE SORÁN VÉGZETT KÉMIAI ELEMZÉSEK.....	36
8. DISZKUSSZIÓ	42
9.ÖSSZEFOGLALÁS.....	44
10. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	45
11. IRODALOMJEGYZÉK.....	46
1. FÜGGELÉK.....	47

1. BEVEZETÉS

A választott témám alapját, a Tokaji-hegység toxikus fémdúsulásait, nevezetesen a térség higany-, antimon-, és arzén-tartalmának vizsgálatát, Tamás Gyula, a KÖZGÉP Építő- és Fémszerkezetgyártó Zrt. munkatársa által felvetett probléma szolgáltatta. Ő ugyanis a következő kérdéssel kereste meg a Miskolci Egyetem Ásvány- és Kőzettani Intézeti Tanszékét. „Az Abaúj-Zempléni Szilárdhulladék Gazdálkodási Önkormányzati Társulás területén lévő 9 db felhagyott szilárdhulladék lerakó rekultivációja” című, KEOP-2.3.0/B/11-2011-0001 kódszámú projekt keretében az „Abaúj-Zempléni felhagyott szilárdhulladék lerakók rekultivációja” nevű Európai Uniós pályázat kivitelezése során, a szilárdhulladék elszállítását követően a következő területeken (Mád, Rátka, Golop, Fony, Baskó és Olaszliszka) a megengedettnél magasabb toxikus fémkoncentrációt mutattak ki a vizsgálatok. A kérdéses területek magasabb higany-, arzén- és antimontartalmáról ők nem tudták eldönteni, hogy földtani-geokémiai okok állnak-e a fémdúsulások mögött, vagy a korábban ott felhalmozott szilárdhulladék okozta-e ezt az anomáliát.

Az előbb felvázolt kérdés keltette fel az érdeklődésemet, ezért azt tűztem ki célul, hogy egy TDK dolgozat keretében megpróbálok erre a kérdésre választ adni, vagyis tanulmányozom a térség földtanát, ásvány- és kőzettani hátterét. Elhatároztam, hogy a cél elérése érdekében a kérdéses területekről mintákat fogok venni, és megvizsgálom azokat olyan módszerekkel, - elektronmikroszkop (SEM-EDS), röntgen-pordiffrakció (XRD) -, melyek a jó válasz eldöntését elősegíthetik. A kapott eredményeket pedig összevetem az eredeti kémiai elemzésekkel, és végül a megszerzett tudással megpróbálok magyarázatot adni arra az érdekes kérdésre, hogy a Tokaji-hegység fent említett területein valóban természetes jelenség-e, hogy az átlagosnál magasabb a kőzetek higany-, arzén- és antimontartalma. Végül, de nem utolsó sorban megpróbálok megkeresni azokat az ásványos fázisokat, melyek a kérdéses toxikus elemeket hordozzák.

2. KUTATÁSTÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉS

A Tokaji-hegység ércindikációival, és azon belül is a kovás kőzetek magas Hg-Sb-As-tartalmával már korábban is foglalkoztak, és történtek hasonló célú vizsgálatok. Mielőtt ezeket a munkákat ismertetném időrendi sorrendben, előbb egy rövid történeti áttekintést adnék az antimon- és higany indikációkról, amely az egyik legrészletesebb forrás előzményeként is szerepel, és így az én témámnak szintén jó felvezetést nyújt, hiszen a XIX. század második felétől egészen az 1980-as évekig öleli fel és ismerteti az addigi forrásokat.

Az első antimon-indikációt 1870-ben említi Szabó József: eszerint antimonit található Erdőbényén opál érkitöltéseként [1]. Ennek bizonyító erejű példánya az ELTE Ásványtani Tanszékén van. Az 1960-as évekig nincs újabb információ antimonról, kivéve Telkibánya érces területét. Az 1960-as években antimon-dúsulását figyelte meg Földváriné Vogl M. Rátka környéki limnokvarcitokban [2]. Később T. Bíró K. paleoliteszkőnyersanyagok geokémiai vizsgálata során Sb-dúsulást észlelt limnikus eredetű kovás képződményekben [2]. Végül Jánosi M. és Papp G. rátkai antimonitot és belőle mállással képződött sztibikonitot mutatott ki [3].

Ami a higany-indikációkat illeti, az 1960-as években Kulcsár L. cinnabaritot azonosított Sárospatakon, a Királyhegyen, később a Botkón és a Cinegésen is. Aztán két kutatócsoport, a KLTE Ásvány- és Földtani Tanszéke, Kulcsár L. vezetésével, és az OÉÁ mádi részlege, Mátyás E. irányításával végeztek további kutatásokat. Mátyás E. ebből írt kutatási jelentést, amiben összegzi az addigi tapasztalatokat [4].

Az előbbi rövid áttekintés után, a fentebb említett, és még egy Mátyás E. által írt forrást részleteznék, mert ezek tekinthetők dolgozatom tényleges első előzményeiként, majd időben tovább haladva röviden ismertetem a későbbi tanulmányokat és laboratóriumi vizsgálatokat, valamint a témám elméleti alapját szolgáltató munkát.

Mátyás E. 1971-ben „A Sárospatak-botkői cinnabarit földtani vizsgálata” címmel írt tanulmánya alapján az elemdúsulások négyféle közettípushoz kötődnek. Ebből az antimon a kvarcitos-pirites-limonitoshoz, az arzén pedig a limonitoshoz köthető. A higany 2-3 nagyságrenddel magasabb dúsulással rendelkezik a kéregátlagnál, de csak epizodikusan. Egyébként kevés dúsulással jelentkező elem, relatív dúsulása az osztályozatlan és osztályozottabb durvatörmelékesekben, valamint a kovás fáciesben jelentős, ami lehet homokos, breccsás és nagyobb pórusterű típus. Az antimon 3-4 nagyságrenddel magasabb dúsulást mutat a kéregátlagnál. Üledékes fácies-kapcsolata nincs, hanem hidrotermális fácies-kapcsolata van, a centrum közeli kovás-kaolinos-hidrohematitos mezőrészekben.

Esetenként abszorpciósan kötődik agyagos dúsulásban, illetve a hidrotermális anyagmozgás vonalainál, repedéseinél, teléreknél fordul elő. Az arzén 3 nagyságrendet meghaladó dúsulású, de ritkább az antimonénál. Durvatörmelékes és pélites-homokos fáciesekben, hidrotermális mezők centrális részén található, az antimonnál kisebb gyakorisággal.

Ezután a higany koncentrációjával és teleptípusaival foglalkozik. A higany cinnabaritként és metacinnabaritként van jelen. A nagymértékű dúsulás a kovás fácieshez kötődik (konglomerátumos, breccsás kvarcithoz kötötten maximum 265,4 g/t). A botkői breccsás szövetű limnokvarcit mintában 1,49 és 1,73%-os higanytartalom található. A higany homokos, törmelékes, nagy pórusterű üledékfáciesekben, hidrotermális mezők centrális fáciesöveiben dúsul. Hidrohematitos és kovás fáciesben a higany koncentrációja önálló ércásványként (cinnabarit) jelenik meg, a többi fáciesben csak nagy diszperzitású nyomelem. A higany koncentráció-maximumait a többi elemmel egybevetve megállapítható, hogy az ólommal gyenge korrelációt ad, az arzénnel még gyengébbet, az ezüsttel meg nagyon bizonytalan.

Mátyás E. Csillag J. tanulmánya [4] alapján írta a botkői cinnabaritról, hogy annak két genetikai típusa van, az egyik szingenetikus hintés a kovagél közé fogottan, a másik pedig bevonatszerű a kvarcit sejtüregeiben, breccsás zónáiban. A botkői kvarcit-területen egybeesik a limnikus medence pélites, homokos, konglomerátumos fáciesöve a hidrotermális, gejzír-jellegű feláramlás centrumával. A konglomerátumos részen kovás kötőanyagú konglomerátum, a homokos részen kvarchomokos, vastagpados limnokvarcit, míg a pélites fáciesterületen diszperz pélites, réteges, pados, vékonyleves kvarcit található. A homokos fáciesövön esett a feláramlás közvetlen centruma, így a higanykoncentráció maximuma a csatorna környezetében van. „A botkői indikáció cinnabaritja tehát kétségtelenül epi-teletermális, hévforrásos eredetű.” [4]

A királyhegyi cinnabaritos indikáció hasonló a botkőihez. „Egyrészt csak a hidrokvarcitos-baritos erek jelezte anyagmozgási zónákra, másrészt csak a centrális fáciesekre, harmadrészt pedig csak az összlet felső, limnikus jellegű tagozatára koncentrálódik.” [4] A cinnabaritos dúsulás területe valamivel nagyobb, de nagyságrendjében azonos a botkőiével.

Mátyás E. 1978-ban írt „A Tokaji-hegység ércindikációi” című kutatási jelentésében az addig ismert metallogén dúsulási adatokat rendszerezi. Ezekből a leírásokból a Hg, Sb, As előfordulásuk fontosak a dolgozatom számára, így csak azokat ismertetem.

Mád, Rátka, Abaújszántó térsége. Rátkán hidrotermális mező van, amit nyomelem-vizsgálatokkal megkutattak. Az észlelt As és Sb epitermális viszonyok következménye, azonban „a vizsgált kvarcitban szemmel felismerhető As, Sb ásványok nem ismeretesek.” [5].

Sárospatak környékén a Király-hegyen és Botkón higanyt, mint karakterisztikus metallogén elemet találtak, ami a hidrotermális feláramlási csatornákra jellemző. A metallogén ásványparagenezisben a következő elemeket azonosították: Ba, Hg, As és Sb. Ezek epi-teleitermális képződésre utalnak. Továbbá a végardói fürdővíz bepárlási maradékának színképelemzése is jelzett As, Sb, Pb, Zn, Ag tartalmat. Megjegyzendő, hogy a bepárlási procedura miatt a higanyt nem lehet kimutatni.

Végül Füžerradványon epizodikus mintavétel történt a fekü agyag pirites, kovás erekkel átjárt részein, melynek színképelemzése As, Pb nyomokat mutatott. Ez összhangban van a Korom-hegy-Emberkő vonulat kovás gerincét formáló vulkáni utóműködési folyamatokkal.

Összegzésként a következőket állapította meg: „A hidrotermális mezőkön kimutatott, kéregátlagnál esetenként nagyobb koncentrációjú metallogén elemek (Hg, Ag, Au, Pb, Zn) kifejezetten epi-, s kisebb mértékben mezotermális szubgeofázisra utalnak.” [5].

„Tokaji-hegységi kőzetminták laboratóriumi vizsgálata” címmel 1988-ban Hegyi J. készített tájékoztató színekélemzéséből [6] az arzén-, és antimon-értékeket emelem ki az 1. táblázatban.

As	135. sz. minta	250 ppm	Telkibánya víztározó
	138. sz. minta	100 ppm	Telkibánya víztározó
Sb	114. sz. minta	10 ppm	Mád
	115. sz. minta	20 ppm	Mád
	116. sz. minta	20 ppm	Mád
	117. sz. minta	20 ppm	Rátka, Koldu
	118. sz. minta	20 ppm	Mád
	119. sz. minta	10 ppm	Rátka
	120. sz. minta	20 ppm	Fony
	135. sz. minta	20 ppm	Telkibánya víztározó
	136. sz. minta	20 ppm	Kéked víztározó
	137. sz. minta	20 ppm	Kéked
	138. sz. minta	20 ppm	Telkibánya víztározó
	139. sz. minta	20 ppm	Kishuta, Komlóska-patak
	140. sz. minta	20 ppm	Fony észak

1. táblázat: As és Sb értékek Hegyi J. tájékoztató színekélemzéséből [6]

A higanyra is készültek elemzések, melyeket Mátyás T. 1989-ben végzett el [7], a „Tokaji-hegységi kovás kőzetek higanyvizsgálata” címmel. „Az elemzés királyvizes feltárás után grafítkemencés AAS módszerrel készült. Kimutatási határ a kőzetben: 1 ppm.” [7] Az adatokat a 2. táblázat tartalmazza, a Hg-koncentráció szerinti csökkenő sorrendben.

Sorszám	Mintaszám	Lelőhely	Hg-koncentráció ppm-ben
32.	R28	Sárospatak	41800
44.	2	Fony	24300
47.	147	Fony	136,4
46.	8	Fony	92,8
49.	R10	Regéc	68,6
48.	11	Fony	51,5
50.	10	Fony	49,3
6.	135	Telkibánya	25,2
16.	70	Legyesbénye	24,9
5.	12	Fony	19,8
40.	133	Kishuta	17,7
21.	149	Fony	11,4
28.	R11	Baskó	10,4

2. táblázat: Mátyás T. 1989-ben végzett higanyelemzései [7]

Szakáll S. 1990-ben írt kutatási jelentése [2] adja az egyik legátfogóbb áttekintést a kovás képződményekről, amelyek ásvány- és kőzettani háttéréről egy későbbi fejezetben fogok részletesebben kitérni.

Elmondható, hogy általános elterjedtségük a kovás képződmények a Tokaji-hegységben, valamennyire a riolitos területek kivételével. Vulkáni utóműködési folyamatok révén három alaptípust különböztetünk meg, a gejzirit-típust, amelynél az anyagfeláramlás egy határozott csatornához köthető (hidrotermális centrum) és a kovás fácies ezzel egybeesik; a limnikus-típust, ahol a vulkáni utóműködési folyamatok az anyagfeláramlási csatornán kívül, elsősorban üledékes körülmények között történnek; valamint a telérkitöltő-típust, amelynél vulkanitban vagy piroklasztikumban

hasadékkitöltések, telérek alakjában, a hidrotermális centrumtól távolabb, de azokkal szoros genetikai összefüggésben váltak ki a kovás képződmények.

„...e három alaptípushoz határozott makroszkópos, mikroszkópos jegyek, sajátos szövet, ásványparagenezis, nyomelemösszetétel és részben geomorfológia kapcsolható.”

[2] A kovás képződmények többnyire jól körülhatárolható területekre koncentrálódnak: Telkibánya körzete, Füžérradvány, Arka-Fony térsége, Erdőhorváti-Komlóska, Sárospatak környéke, Erdőbénye, Mád-Rátka térsége és a Szerencsi-dombvidék.

A Szerencsi-dombvidékkel foglalkozik „A Szerencsi-dombság ásványai” címmel megjelent kötet [9], melyben Mátyás T. a Szerencsi-dombság hidrotermás centrumainak nyomelemvizsgálatáról ír.

A bekecsi Közép-hegyen észlelt kálitufa-előfordulás nehézfémekben szegény, a higany 81 ppm-ben volt jelen. A bekecsi Nagy-hegyen a teléres zóna magasabb fémtartalommal rendelkezik. 1,7 ppm körüli Ag-koncentrációt mértek a cukorhintéses gejziriteken, valamint 200 ppm körüli Hg-koncentrációt porózus, cementált kvarckristályhalmazban. A legyesbényei Fuló-hegyen 54 ppm körüli Hg-koncentráció volt jelen kilúgozott telérkvarcitban, és ez az áramlási centrum legintenzívebb kovásodott központi zónája. Végül a legyesbényei kvarcitkőfejtőben találták a legjelentősebb nyomait egy polimetallikus ércindikációnak, melyben az Ag 70 ppm, a Pb 250 ppm, a Cu 90 ppm, valamint a Hg 25 ppm értéket adott.

3. TOKAJI-HEGYSÉGI KOVÁS KÉPZŐDMÉNYEK ÁSVÁNY-KŐZETTANI HÁTTERE [2, 8]

Mint ahogy a kutatástörténeti fejezetben már említettem, a Tokaji-hegység kovás képződményeinek ásvány-kőzettani hátterével Szakáll S. foglalkozott a legrészletesebben. Ebből kiindulva ismertetem a különböző típusokat, és azok fontosabb jellemzőit. Megállapítja, hogy: „a kovás képződmények teleptani, genetikai, szöveti, ásványparagenetikai szempontból három nagy csoportba sorolhatók, mely három csoport egy-egy jellegzetes metallogén-típus megtestesítője.” [2]

Az első a gejzirit-típus vagy más néven a Hg-(Ba)-típus. Erre jellemző, hogy anyaga a vulkáni feláramlási csatornában vagy annak közelében válik ki. Teleptanilag körkörös vagy ovális felépítésű, de nem nagy kiterjedésű. Piroklasztikumokban viszonylag jól kifejlődött, más ásványokkal jellemzett fáciesövek körítik, azonban intermedier kőzeteknél ezek nincsenek kifejlődve. Szövetére a finom szemcsés mátrixban elhelyezkedő nagy kvarc-töredékek jellemzők, tehát breccsás megjelenésű, valamint gyakori a likacsos, porózus megjelenés. Ez a típus a hegység középső és déli részén elterjedt. Metallogén elem dúsulás szempontjából jobbra negatív a Szerencsi-dombvidék zöme, valamint Mád térsége, ellenben pozitívak higanyra Sárospatak, Fony és Baskó térségei. Ennél a típusnál Hg-Ba-(Sr) -dúsulás figyelhető meg. Uralkodó ásványai a cinnabarit és a barit, járulékos ásványok a rutil és anatáz.

A második a limnikus-típus vagy Sb-(As)-típus. Ez a hidrotermás centrumtól távolabb található, limnikus (édesvízi-tavi) körülmények között jött létre. Általában üledékes összletben települt. Teleptani jellegzetessége, hogy hosszan, laposan elnyúló formát alkot, valamint jellemző rá a kőzet pados elválása. A piroklasztikummal összefüggő telepei az agyagásvány-telepekkel együtt fordulnak elő. A szövetét alkotó kvarcit aprószemcsés, olykor sok szerves anyagot tartalmaz. A hegység szegélyi részein jellemző ez a típus, amely Sb-As dúsulást mutathat. Paragenezise epitermás képződésre utal. Elsődleges ásványai az antimonit és a realgár, másodlagosak a sztibikonit és a tripuhyit.

Harmadik a telérkitöltő-típus vagy polimetallikus-típus, amely teléreket, hasadékkitöltéseket, hosszan elnyúló kovás zónákat alkot. Ez a típus a hegység egész területén előfordul. Három fő szöveti, ásványparagenetikai típust különböztetünk meg ezen belül: a kvarcból állót, a kalcedonból állót, valamint az opálból állót. Metallogén (polimetallikus) elem dúsulás főként az első csoporthoz, vagyis a kvarcból álló szöveti típushoz köthető, amely Telkibánya, Komlóska, Sárospatak, Legyesbénye térségére jellemző. A telérkitöltő-típus elsődleges ásványai a galenit, szfalerit, kalkopirit, arany és Ag-szulfidok. Másodlagos ásványai a jarosit, cerusszit, anglesit, malachit. Jellemző

nyomelemei a réz, ólom, cink, ezüst és arany. A kalcedonból álló szöveti típus változatos színvilágát a kalcedonban lévő opál-hematit, opál-goethit, opál-szeladonit és ritkán kvarc-hematit néhány száz mikrométeres képződményei okozzák. A fekete szín pedig a kalcedonban lévő mangán-oxidok dendrites, tűs vagy szabálytalan halmazai miatt van.

4. A FÖLDTANI KÖZEG ÁLLAPOTÁRA ÉS A TOXIKUS ELEMekre VONATKOZÓ KORMÁNYRENDELETEK

„A felszín alatti vizek védelméről” szóló 219/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet [10] foglalkozik a földtani közeg és a felszín alatti víz jó állapotának biztosításával és fenntartásával. Ezen jogszabály adja meg a keretet a mennyiségi és a minőségi védelemmel kapcsolatos elvárásokra és hatósági intézkedési lehetőségekre.

Dolgozatom szempontjából lényeges a következő fogalmak megadása, amelyeket a kormányrendelet [10] a 3.§-ban értelmez:

„1. (A) háttér-koncentráció: reprezentatív érték, ami az egyes anyagoknak, az anyagok egy csoportjának vagy indikátornak – a földtani közeg figyelembevételével – az adott felszín alatti víztestben vagy víztestcsoportban jellemző koncentrációja, illetve az indikátor értéke, mely az ember által nem, vagy csak csekély mértékben megváltoztatott, zavaró hatásoktól mentes körülmények fennállása esetén fordul elő;

2. (Ab) bizonyított háttér-koncentráció: meghatározott anyagnak, az anyagok egy csoportjának, illetve az indikátornak adott terület földtani közegére vagy felszín alatti vizére jellemző, vizsgálatokkal megállapított tényleges háttér-koncentrációja;

3. (B) szennyezettségi határérték: jogszabályban, illetve ennek hiányában hatósági határozatban meghatározott olyan szennyezőanyag-koncentráció, illetve egyéb minőségi állapotjellemzők olyan szintje a felszín alatti vízben, a földtani közegben, amelynek bekövetkeztekor a földtani közeg, a felszín alatti víz szennyezettnek minősül, figyelembe véve a felszín alatti víznél az ivóvízminőség és a vízi ökoszisztémák, továbbá a felszín alatti víztől függő szárazföldi ökoszisztémák igényeit, földtani közeg esetében pedig a talajok többes rendeltetését és a felszín alatti vizek szennyezéssel szembeni érzékenységét;

4. (D) kármentesítési célállapot határérték: hatósági határozatban előírt koncentráció, amit a kármentesítés eredményeként kell elérni az emberi egészség és az ökoszisztéma, illetve a környezeti elemek károsodásának megelőzése érdekében; meghatározása a kármentesítési eljárás keretében végzett komplex értékelésen, a szennyező anyagnak a környezeti elemek közötti megoszlására, viselkedésére, terjedésére vonatkozó méréseken, modellszámításokon, kármentesítési mennyiségi kockázatfelmérésen alapul a területhasználat figyelembevételével;

5. (E) egyedi szennyezettségi határérték: a telephelyen a (B) szennyezettségi határérték helyett – a Kvt. hatálybalépésekor már folytatott tevékenység esetében vagy azokon a területeken, ahol az (Ab) bizonyított háttér-koncentráció meghaladja a (B) szennyezettségi határértéket – a helyzet tényleges ismerete alapján kármentesítési

menyiségi kockázatfelmérésre támaszkodóan, a területhasználat figyelembevételével hatósági határozatban megállapított szennyezettségi határérték. Az (E) egyedi szennyezettségi határérték nem lehet szigorúbb a (B) szennyezettségi határértéknél és nem lehet enyhébb a vizsgálattal megállapított tényleges szennyezettségi koncentrációnál, illetve a (D) kármentesítési célállapot határértéknél; (...)

15. földtani közeg: a föld felszíne és az alatta elhelyezkedő természetes eredetű képződmények (a talaj, a mederüledék, a kőzetek, beleértve az ásványokat, ezek természetes és átmeneti formáit); (...)

36. szennyezés: szennyező anyag, illetve energia közvetlen vagy közvetett bevezetése a környezetbe, amely káros lehet a földtani közeg, felszín alatti víz állapotára, az emberi egészségre, az ökoszisztémákra, a környezethasználatokra vagy az anyagi tulajdonra, illetve rontja, vagy zavarja a környezet élvezetét;

37. szennyezettség: szennyező anyagnak a felszín alatti vízben vagy a földtani közegben terhelés, illetve szennyezés hatására kialakuló, szennyezettségi határértékeket meghaladó koncentrációja;

38. szennyező anyag: minden anyag, ami nem természetes okból a földtani közegbe, illetve a felszín alatti vízbe kerülve szennyezést, illetve vízminőségromlást okozhat, ilyenek különösen az e rendelet 1. számú mellékletében szereplő anyagok; (...)

46. földtani közegben okozott károsodás: a földtani közeg minden olyan szennyezése, amely az anyagok, készítmények, szervezetek vagy mikroorganizmusok talajba, a talaj felszínére vagy a földalatti térbe történő közvetlen vagy közvetett bevezetése következtében a szennyezőanyag-koncentráció az emberi egészség károsodásának jelentős kockázatával jár, illetve meghaladja a (B) szennyezettségi határértéket vagy az (E) egyedi szennyezettségi határértéket; (...)” [10]

Továbbá leírja a rendelet a 10. §-ban, hogy „(4) Nem igényel a 6. § (1) bekezdés a) pontja szerinti intézkedést a szennyező anyag felszín alatti vízbe, földtani közegbe történő bevezetése, ha

a) olyan baleset, illetve rendkívüli természeti körülmény következménye, amely ésszerűen előre nem látható, el nem kerülhető vagy nem mérsékelhető (...)”

Valamint a 22. § (1) arról rendelkezik, hogy a tényfeltárás során „(...) b) külön jogszabály szerinti szűrővizsgálatot és ennek eredményeitől függő részletes kémiai vizsgálatot kell végezni mind a földtani közegre, mind a felszín alatti vízre vonatkozóan annak érdekében, hogy valamennyi, a szennyezettséget okozó szennyező anyag előfordulása megállapítható legyen.” [10]

Az egyes toxikus elemek határértékeit pedig „A földtani közeg és a felszín alatti vízszennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről” szóló 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet [11] fogalmazza meg.

A higany és az arzén értékeit az 1. melléklet a 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelethez, míg az antimon értékét a 3. melléklet a 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelethez A) része tartalmazza. Ezen értékeket a következő táblázatban foglalom össze, ahol az ún. CAS-szám a Chemical Abstract Service azonosító száma, a K_i a veszélyességet jellemző besorolás, mely szerint K1 a minden esetben veszélyes anyagokat jelöli, és a B (B) szennyezettségi határértéket jelent (mértékegysége: mg/kg szárazanyag).

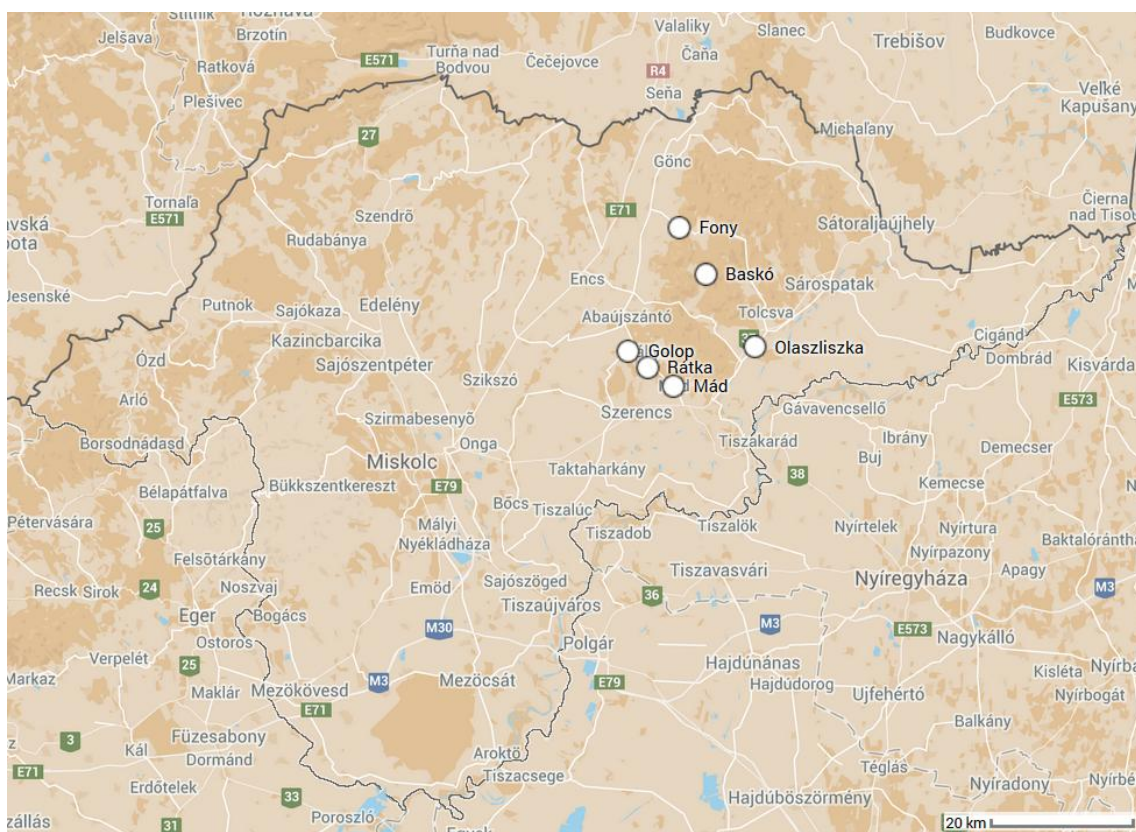
CAS-szám	Név	B	K_i
7440-38-2	Arzén	15	K1
7439-97-8	Higany	0,5	K1
7440-36-0	Antimon*	5	K2

* Termőföldnek nem minősülő földtani közegre.

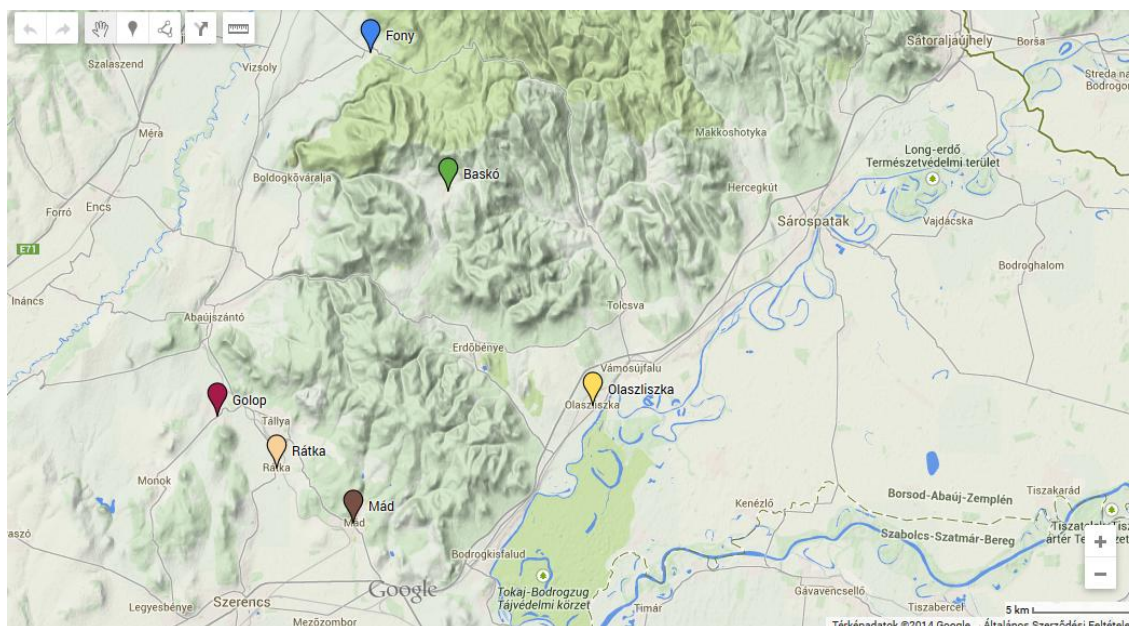
3. táblázat: Az arzén, higany és antimon szennyezettségi határértékei a 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet szerint [11]

5. TEREPBEJÁRÁS

A Tamás Gy. által megnevezett rekultivált hulladéklerakó-területeket bejárva, ahol a megengedettnél magasabb toxikus fém-koncentrációkat mértek (Mád, Rátka, Golop, Fony, Baskó, Olaszliszka), Mád kivételével a mintavételezésem sikeres volt. Mivel a hulladéklerakó-telepek főként felhagyott kőbányákban létesültek, így a mintavételt megkönnyítette a kőzetek feltártsága és megközelíthetősége. A vizsgált területekre a riolittufa, esetenként kovásodott riolittufa jelenléte volt jellemző, de ez önmagában nem adhatott magas fémkoncentrációt, ezért a mintavételezés a kovásodott kőzettípusokra irányítódott. Egyedül Mádon nem volt alkalmas kőzetminta, mert egyedül ott nem egy hajdani kőbányában létesült a lerakó.



1. ábra: A terepbejárás során érintett települések Borsod-Abaúj-Zemplén megyében.



2. ábra: A terepbejárás során érintett települések nagyított, domborzati térképen.

Tamás Gy. tájékoztatása szerint ők a humuszos termőtalaj alatti kőzetekből vettek mintát (megjegyzendő, hogy a humuszos feltöltés már a hulladék elszállítását követően került a területre). „A hulladék kitermelése és elszállítása után a mentesített területekről vett „talajminta” gyakorlatilag a bányászott kőzet törmeléke volt, csak a mintavevő labor talajmintaként nevezte meg, hiszen nem a talaj-típus azonosítása volt az elsődleges cél. ... A mintákat kb. 30 cm-es mélységből vettük, ez néhol a nagyobb kőzettörmelék miatt gyakorlatilag a felszínről összegyűjtött kőzetanyag volt.

Egyes esetekben azonban, pl. a mádi helyszín esetében, ahol a lerakó nem kőbányában volt, ott a talajban mértük a kiugró eredményeket, több alkalommal. Itt ismételten mintavételeket végeztünk a környező területekről (szőlő, legelő, szántó...) is (a termőtalajból), és azokban is magasabb volt a koncentráció.” [12]

Ugyanis a projekt előírta, hogy „A felszámolt hulladéklerakó helyén talajtani vizsgálattal kell igazolni, hogy a fel nem szedett talaj nem szennyezett. A lerakó alatti talajból a KTVF által a rekultivációs terveket elfogadó határozatban meghatározott számú (általában három-öt) jellemző helyen mintát kell venni. A talajmintákat akkreditált laboratóriumban kell bevizsgáltatni a 6/2009.(IV. 14.) KvVM EuMFVM együttes rendelet szerinti nehézfém komponensekre, valamint TPH-tartalomra. A mérési eredményeket kiértékelve meg kell küldeni a Felügyelőségnek. Amennyiben az altalajban a kitermelést követően is szennyezés található, a talaj kitermelését addig kell végezni, amíg a talajban szennyezés található.” [13]



a)



b)



c)



d)

3. ábra: A terepbejárás során készült képek. a) A rátkai helyszínen folyó tereprendező munkálatok a szilárdhulladék elszállítása után. b) A már elkészült rekultivált terület Fony mellett. c) Az Európai Unió pályázatát mutató tábla a rekultivált területen Olaszliszka és Erdőbénye között. d) Kovásodott riolittufa az Olaszliszka-Erdőbénye közötti kőfejtőből.

5.1. A MINTÁK MAKROSZKÓPOS LEÍRÁSA

Azokról a mintákról, amelyekben magas fémkoncentrációt mértek, nincs makroszkópos leírás, mert csak a kémiai analízis, konkrétan a nehézfém- és TPH tartalom megállapítása volt a vizsgálat célja, amely azonban nem célozza a minták makroszkópos leírását.

Így a rekultivált hulladéklerakók területéről a dolgozatom számára gyűjtött és vizsgált kőzetmintákról, valamint összehasonlításként Rátka, Kolduról; Fony, Csonkásról és Mád, Bánya-oldalról származó mintákról adok makroszkópos leírásokat. Igaz, hogy az utóbbi területek nem a szilárdhulladék-lerakókhoz tartoznak, de az itt lévő kovásodott kőzetek hordozzák a legnagyobb mennyiségben rendre az antimont, higanyt és arzént,

ezért referenciaként szolgálnak a dolgozatom számára. (A nem a rekultivált hulladéklerakók területéről származó mintákat *-gal jelölöm.)

1. **Fony, Csonkás*:** Üveges fehér alapanyagban cinóbervörös szabálytalan alakú halmazok és nagyobb méretű fenokristályok (szürkés-kék, világosbarna, sötétbarna).
2. **Fony, Cigánytövis:** Kagylós törésű, mikrokristályos halvány rózsaszínes világosszürke alapanyagban egy sávban apró vörös szemcsék, valamint elszórtan apró, szürke, fémfényű szemcsék.
3. **Rátka, Koldu*:** Az alapvetően szabálytalan alakú, szürke, barna és fehér színű, üveges halmazok által alkotott breccsa három darabkája érdekes tulajdonságokat mutat. Az egyik matt, fekete színű, üveges szövetében a vékony, világosszürkés barna erek mellett, egy helyen nagyobb fehér halmaz, továbbá világosabb vörös foltok és szürke matt foltok találhatók. A másik minta fehér, kagylós törésű, üveges szövetében fémfényű, sugaras-tűs halmazok vannak, amelyek feltehetőleg antimonit ásványok. A harmadik minta világosszürke, kagylós törésű, üveges szövete mellett megjelenik egy fekete színű, ugyancsak kagylós törésű, üveges réteg is, amelyben vörös erek, fehér és barna halmazok vannak.
4. **Golop, Somos-hegyi kőfejtő:** A kívülről középszürke, porózus, részben kovásodott breccsának a belsejében különböző vastagságú világosszürke, sötétszürke és vörösbarna rétegek váltják egymást.
5. **Erdőbénye- Olaszliszka közötti kőfejtő:** A szürkésfehér, porózus riolittufában középszürke és okkerbarna üveges, kovás rétegek vannak, amelyekben kisebb fekete szemcsék, és nagyobb fehér fenokristályok találhatók.
6. **Erdőbénye- Olaszliszka közötti kőfejtő:** Szürkésfehér, porózus riolittufában fehér matt és fényesebb világosszürke szabálytalan alakú halmazok vannak, amelyben apró, fémfényű szürke szemcsék találhatók. Valamint ugyancsak szürkésfehér, porózus riolittufában középszürke és világosbarna rétegek, amelyben apró fémfényű szemcsék és zsírfényű fehér fenokristályok vannak.
7. **Fony, Csonkás*:** Halvány rózsaszín, kagylós törésű, üveges alapanyagban egy helyen vörös folt, valamint elszórtan nagyon apró, matt fekete szemcsék vannak hintésszerűen. Esetenként világos sárgásszürke, sötétlilás fekete és kékesszürke üveges, tömött, kagylós törésű rétegek figyelhetők meg.
8. **Fony, Csonkás*:** Az egyik minta üveges, kagylós törésű, átlátszatlan fehér, matt fekete (ebben vastagabb barna erek futnak) és világosszürke rétegekből áll. A másik mintában szabálytalan alakú üveges barnásszürke, porózusabb, matt fehér és

világosszürke halmazok, amelyekben narancssárgás vörös erek és egy foltban fémfényű, szürke szemcsék vannak.

9. **Baskó, falu délkeleti szomszédsága:** Az egyik minta üveges, kagylós törésű, áttetsző világosszürke alapanyagában szabálytalanul elhelyezkedő szürke, sötétszürke, fehér és világosbarna halmazok vannak, amelyek éles határral rendelkeznek, valamint apró, sárgásbarna szemcsék és apró, fehér gömbszerű formák találhatók benne. A másik minta egyenetlen törésű, enyhén zsírfényű, porózus, világosszürke alapanyagában kisméretű sötét bordó foltok és világosabb bordó nagyobb méretű, matt halmazok vannak.
10. **Mád, Bánya-oldal*:** Halvány rózsaszín és fehér, kagylós törésű alapanyagban vörösesbarna sávok, foltok, finom hintésekként szulfidos hintések, illetve egy helyen 1-2 mm-es szulfidos csomó figyelhető meg.

6. MINTA-ELŐKÉSZÍTÉS

6.1. FELÜLETI CSISZOLAT ELKÉSZÍTÉSE SEM-EDS VIZSGÁLATRA

A terepről hozott, gondosan kiválogatott kőzetekből egy-egy kisebb darabkát kiválasztva, amely a későbbi vizsgálat szempontjából fontos információval bírhat, kettesével-hármasával egy-egy beágyazó tégelybe vagy más néven pogácsába került, hogy majd a műgyanta megkötése, és a kapott hengerek csiszolása után el lehessen végezni a kívánt mikroszondás vizsgálatokat a mintákkal. Összesen 10 darab pogácsával dolgoztam.

Ehhez Araldite 2020, kétkomponensű műgyantát használtam, ebbe kellett beágyazni a mintákat. A műgyanta elkészítéséhez az A komponensből elvileg tégelyenként 5 g kellett volna, vagyis $10 \times 5 \text{ g} = 50 \text{ g}$, de figyelembe véve, hogy a pogácsákban viszonylag kis méretű kőzetminták voltak, így 55 g lett mérve belőle. A B komponensből 15 g kellett, mert az A komponens 10 g-jaihoz 3 g B komponens kell számolni, és így jött ki a 15 g.

Ezután keverés és enyhe melegítés következett. A melegítés azért volt szükséges, mert így csökken a műgyanta viszkozitása. Aztán először csak kevés csurgatás a mintákra pipettával, utána kis megmozgatás következett, hogy alámenjen a gyanta, és ne keletkezzenek légbuborékok. Ezek után az összes műgyantát rá kellett csurgatni úgy, hogy az összes tégelyben ez az átlátszó gyanta körülbelül egyforma magasságú legyen.

Az esetleges levegőbuborékokat az úgynevezett vákuumozással lehetett kiküszöbölni. Ennek az a lényege, hogy behelyezve a tégelyeket a készülékbe, az kiszívja a levegőt, vákuumot hozva létre, így a még a pogácsákban lévő apró légbuborékok is távoznak. Kőzettől függően ez a légmentes állapot 15 vagy 30 percig tart. A nagyon porózusaknál kell a 30 perceset alkalmazni, az én mintáimnál elég volt csak a 15 perc is.

A vákuumozás után a száradás következett, ami ennél a műgyantánál 3 nap. Ugyan már 12 eltelt óra után megköt annyira a gyanta, hogy ki lehet venni a tégelyből, de csak a harmadik nap után lehet vele dolgozni.

A felületi csiszolat elkészítéséhez először csiszolni kellett, majd polírozni az immár megkötött műgyantás mintákat. A csiszoláshoz 240-es, 400-as, 600-as és 1000-es csiszolóport, valamint 1200-as és 2400-as csiszolópapírt használtam. A csiszolópor és a csiszolópapír számozása területegységre van vonatkoztatva, vagyis például a 600-asnál $1\text{cm} \times 1\text{cm}$ -en van 600 db csiszolóporszem. Csiszoláskor a mintákat időnként nedvesíteni kellett, valamint az egyes váltásoknál ki is kellett őket ultrahangozni és desztillált vízzel lemosni, hogy teljesen tisztán kerüljenek az új csiszolóporba, és hogy ne hozzanak át szemcséket az előzőből.

A csiszolás után a polírozás következett. Ez történhet kézzel vagy géppel. Először a polírozó kendőre ráhelyeztem az anyagnak megfelelő polírozó anyagot, ami lehetett gyémántból készült spray, paszta vagy stick, és megpolíroztam a mintákat. A polírozás folyamata 6 μ m-es, 3 μ m-es, 1 μ m-es, valamint 1/4 μ m-es polírozó anyagokkal történt. Itt, a csiszolással ellentétben, a polírozó anyag számozása a gyémántszemcsék szemnagyságára vonatkozott. Polírozás közben a polírozó kendőt folyamatosan nedvesítettem, továbbá az egyes polírozó anyagok váltásánál a mintákat kiultrahangoztam, és desztillált vízzel lemostam.

Az így elkészített polírozott minták kerültek elektronmikroszkopos (SEM-EDS) vizsgálatokra.

6.2. PORÍTÁS XRD-VIZSGÁLATRA

A röntgen-pordiffrakciós (XRD) vizsgálatokhoz a kiválasztott kőzetmintákat porítani kellett. Dolgozatom számára a Rátka-Kolduról, Golopról, Erdőbénye-Olaszliszkáról, Fonyóráról és Mád, Bánya-oldalról származó, rendre a 3-as, 4-es, 5-ös, 8-as és 10-es mintaszámmal ellátott kőzetmintákból porítottam.

A kiszáritott mintákat először az acélbetétes mozsárban kb. 1 mm alá letörtem. Ezután a megtört mintákat feladtam a porcelán mozsárba, majd a megfelelő minőség elérése után a porcelán mozsárban megtört mintákból vettem ki az achát-mozsárba. Az achát-mozsárban 4-5 μ m alá porítottam le a mintákat. Az így elkészített, porított minták kerültek XRD vizsgálatokra.

7. MŰSZERES VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI

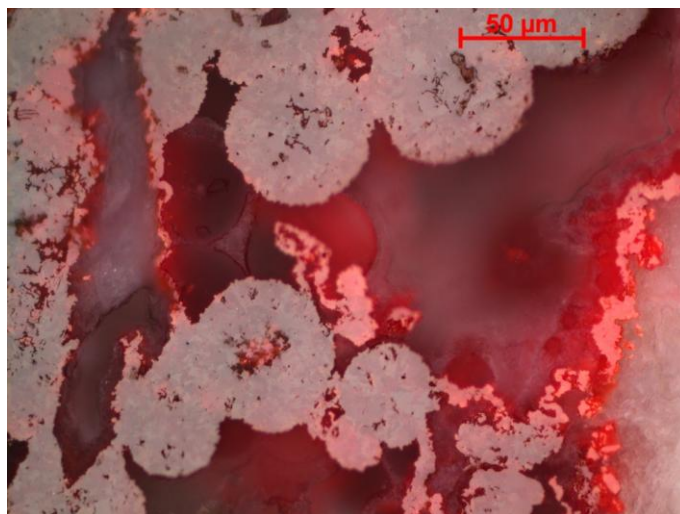
7.1. SEM-EDS VIZSGÁLATOK

Az elektronmikroszkopos vagy más néven a SEM-EDS (Scanning Electron Microscope – Energy-Dispersive Spectrometer, magyarul: pásztázó elektronmikroszkóp energiadiszipatív spektrométerrel) vizsgálat egy olyan módszer, amely során az energiadiszipatív röntgenspektrométer segítségével a vizsgált minta egyes pontjairól röntgenspektrumokat lehet felvenni. A keletkező röntgenspektrumok alapján a pontokban lévő elemek azonosíthatók, mennyiségük mérhető, kémiai összetételük meghatározható. Ez annak köszönhető, hogy a különböző elemek az elektronnyaláb hatására egyedi, csak rájuk jellemző karakterisztikus röntgensugárzást bocsátanak ki.

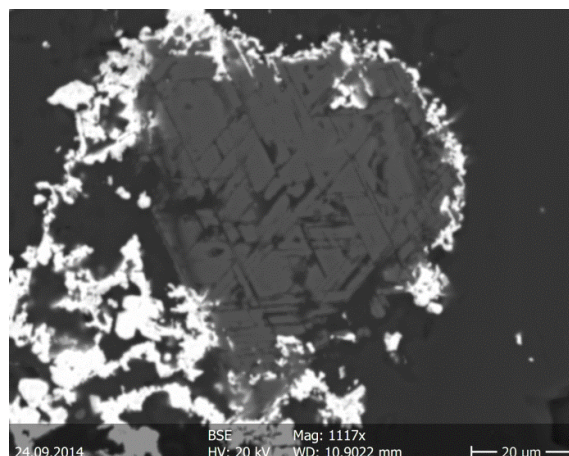
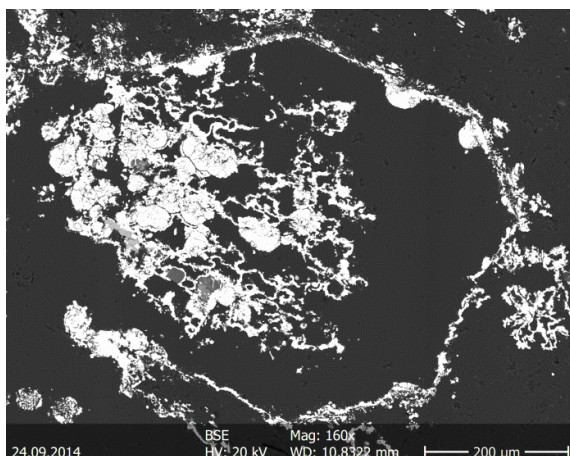
A SEM-EDS vizsgálati módszer lehetővé teszi nagy felbontású és nagyítású képek készítését, melyeken a különböző elemösszetételű fázisok más-más árnyalattal jól megkülönböztethetők egymástól a BSE, magyarul visszaszórt elektronképen.

Az Ásvány-és Kőzettani Intézeti Tanszéken végzett SEM-EDS vizsgálatok, JEOL JXA-8600 Superprobe mikroszondával, 20kV gyorsító feszültséggel és 20 nA mintaárammal történtek, Turi Judit segédletével. Az eredményeket mintánkénti sorrendben ismertetem, képekkel és táblázatokkal, valamint kiegészítésképpen Zeiss AxioCam MRc5 nevű kamerával ellátott Zeiss Imager.A2m AXIO polarizációs mikroszkóppal ráeső fényben készített fotókkal illusztrálva.

1. A Fony, Csonkásról származó mintában a cinnabarit finom hintések, gömbös aggregátumok formájában jelenik meg, amelyek esetenként láncszerűen helyezkednek el. Itt-ott ritkán barit pár μm -es szemcséi, és rutil xenomorf-hipidiomorf kristallitjai figyelhetők meg.

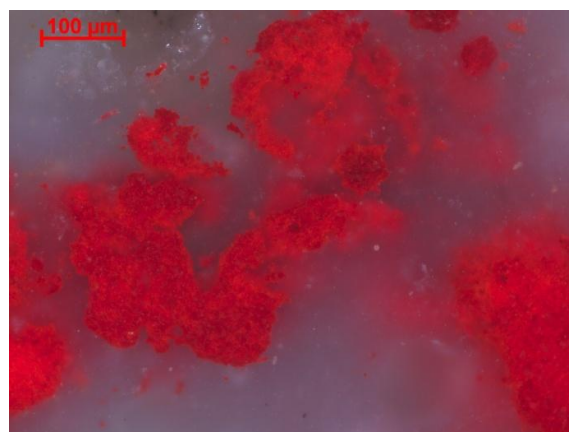
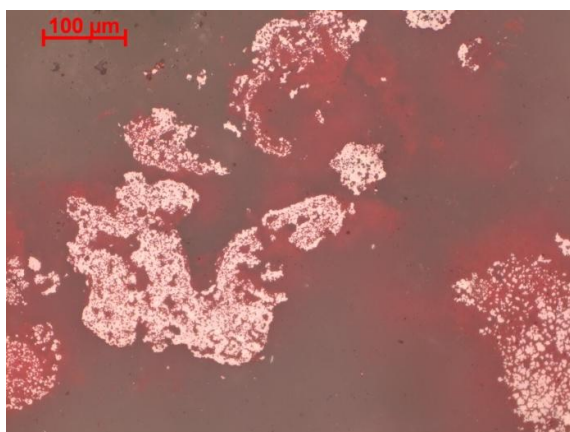


4. ábra: Cinnabarit gömbös megjelenés. Polarizációs mikroszkóp 1 nikol.

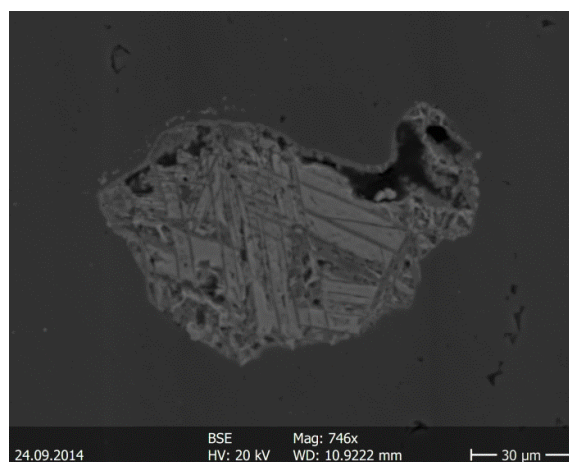
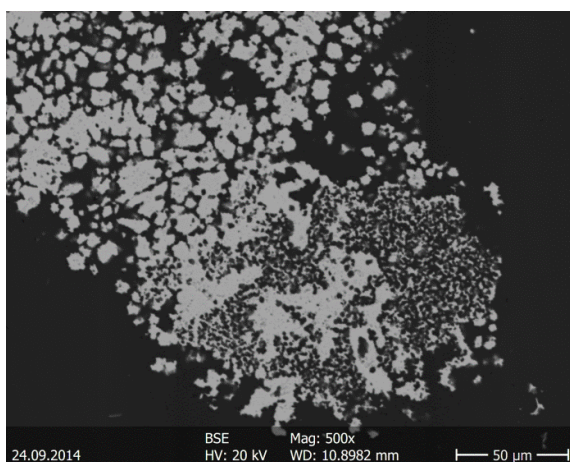


5. ábra: Cinnabarit (fehér) és rutil (szürke, rácsszerű alakzat) kvarcban. Fony, Csonkás. Viasszaszórt elektronkép.

2. Fony, Cigánytövis: a mintában a cinnabarit hintések formájában jelenik meg. Továbbá gyakori a rutil pár µm-es szemcsékként.



6. ábra: Cinnabarit halmazok kvarcban. Fony, Cigánytövis. Polarizációs mikroszkóp 1° nikol (balra) és keresztezett nikol (jobbra).

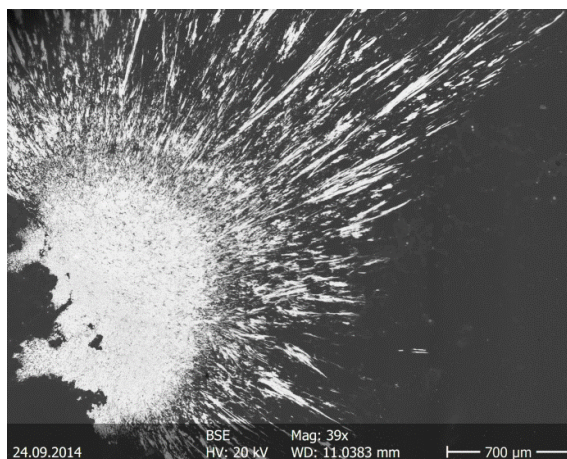
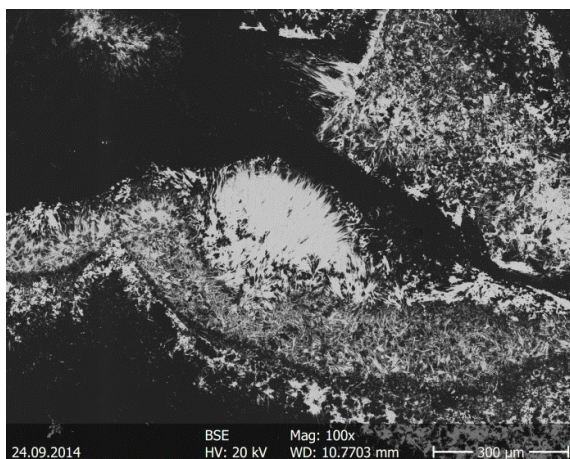


7. ábra: Cinnabarit (balra) és rutil (jobbra) kvarcban. Fony, Cigánytövis. Viasszaszórt elektronkép.

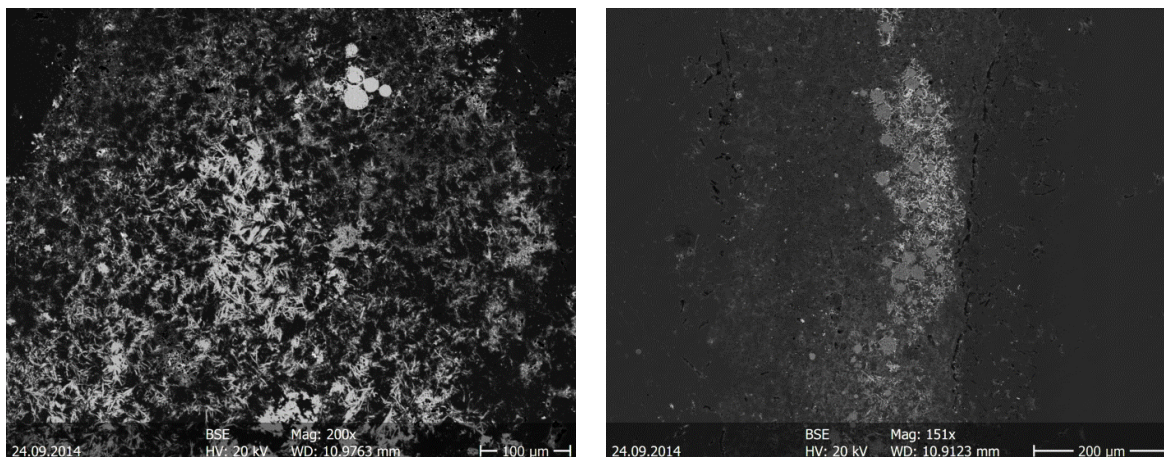
3. Rátka, Koldu, limnokvarcit-kőfejtő: az antimonit sugaras halmazokként figyelhető meg, valamint az ebből képződött sztibikonit, mely sokszor barittal van összenőve. Olykor egy Fe-Sb-oxid, illetve Fe-oxidok is kísérik az antimonit oxidációs jellegű átalakulását. A vas eredetileg pirítként lehetett jelen, és az aggregátumok gömbös jellege és szövete alapján feltehetően bakteriális eredetű.



8. ábra: Antimonit sugaras halmaz 1 nikolnál (balra), valamint antimon-oxid és framboidális pirit szintén 1 nikolnál (jobbra).



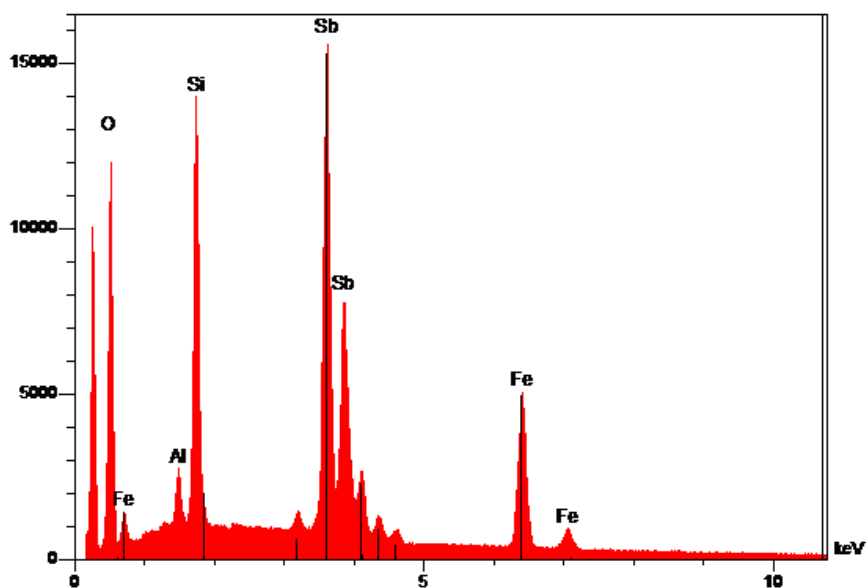
9. ábra: Antimonit tűs-sugaras halmazai (fehér) kvarcban. Visszaszórt elektronkép.



10. ábra: Antimon-oxid (balra) és HgS-Sb-oxid szorosan összenőtt halmazai kvarcban. Rátka-Koldu. Visszaszórt elektronkép.

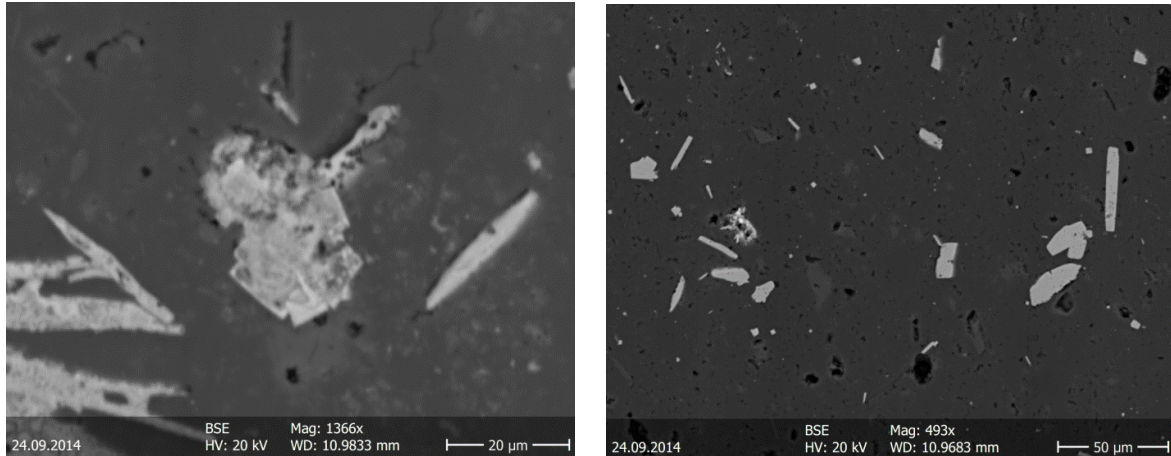
	tömeg%
Al ₂ O ₃	3.05
SiO ₂	23.34
FeO	17.61
Sb ₂ O ₃	55.99

4. táblázat: Sb-Fe-oxid kémiai összetétele EDS alapján (a SiO₂-tartalom a környező kvarchoz tartozik).



11. ábra: Sb-Fe-oxid EDS spektruma

4. Golop, Somos-hegyi kőfejtő: markazit-léces kristályok, Cu-szulfid, kalkopirit és Zn-szulfid hintések jelennek meg 5-10 μm -es méretben. Az oxidatív átalakulásokat As-Pb-tartalmú vas-oxid és változatos kémiai helyettesítéseket mutató jarositok képviselik. A kristályok magja As-gazdag plumbojarosit, míg a szegélyükben ezek az elemek kisebb mennyiségben vannak jelen. Cinnabarit is észlelhető Fe-oxidok kíséretében.

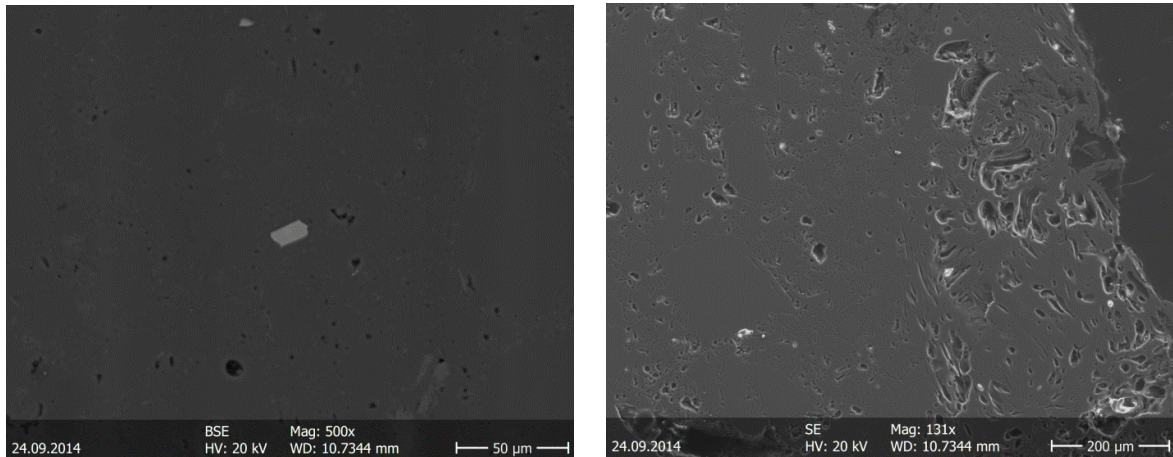


12. ábra: Fe-oxid jarosit után átalak (balra) és markazit (jobbra) kvarcban. Golop, Somos-hegy. Visszaszórt elektronkép.

Ásvány		tömeg%
Covellin	Al	0.48
	Si	2.71
	S	34.76
	Cu	62.05
Ásvány		tömeg%
Pb-As-tartalmú jarosit (szegélyi részen)	Al ₂ O ₃	2.13
	SiO ₂	4.07
	P ₂ O ₅	0.70
	SO ₃	33.45
	K ₂ O	9.43
	FeO	43.78
	As ₂ O ₅	2.01
	PbO	4.43
K-As-P-tartalmú plumbojarosit (magban)	Al ₂ O ₃	2.07
	SiO ₂	9.28
	P ₂ O ₅	2.76
	SO ₃	17.58
	K ₂ O	3.69
	FeO	32.52
	As ₂ O ₅	9.79
	PbO	22.31
Pb-As-tartalmú jarosit és vas- oxid keveréke	Al ₂ O ₃	2.33
	SiO ₂	1.43
	SO ₃	10.94
	K ₂ O	2.59
	FeO	67.65
	As ₂ O ₅	6.67
	PbO	8.39

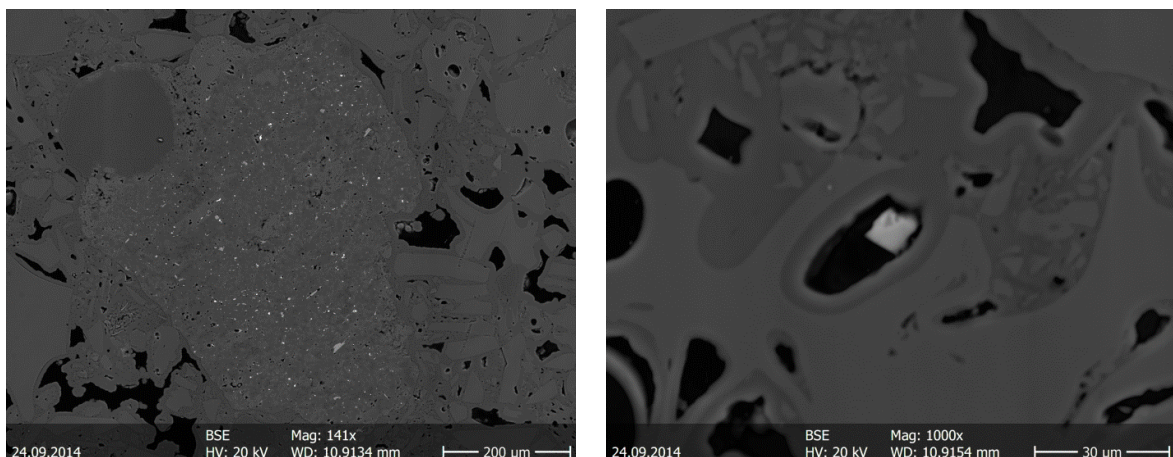
5. táblázat: Covellin, és különböző jarositok kémiai összetétele EDS-elemzés alapján.

5. Erdőbénye – Olaszliszka közötti kőfejtő: érdekes kristálytufa, melyben a szanidin-törmelékeket ahhoz hasonló kémiai összetételű, de feltehetően rövidtávon rendezett szerkezetű üvegszerű anyag cementálja. A járulékos komponensek között ilmenit, allanit és monacit ismerhető fel az EDS-spektrumok alapján.

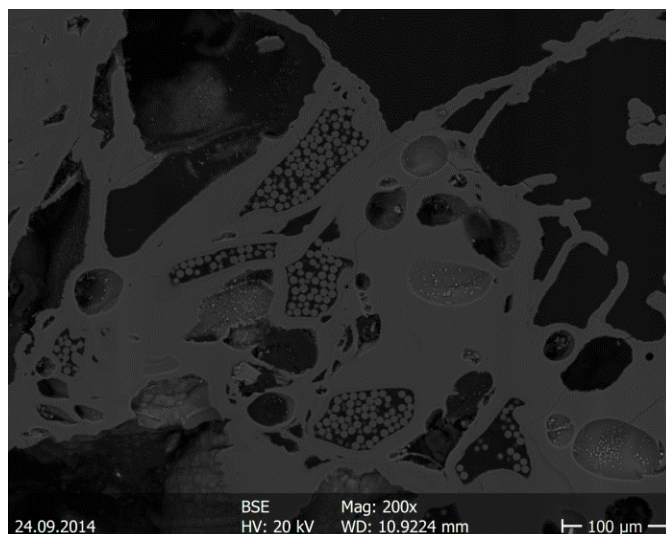


13. ábra: Allanit visszaszórt elektronképe (balra), valamint szanidin szekunder elektronképe (jobbra).

6. Erdőbénye – Olaszliszka közötti kőfejtő: a kristálytufa egyes zónáiban erőteljesebb kovásodás történt, ezt olykor pirithintés jellemzi. Mikroszondával kimutatható még a barit, Zn-szulfid, és galenit (5-10 µm-es méretű szemcsékként). Egy alkalommal fluorit 6 µm-es hexaéderes kristályát is meg lehetett figyelni. Ez a paragenézis hidrotermás eredetet jelez.

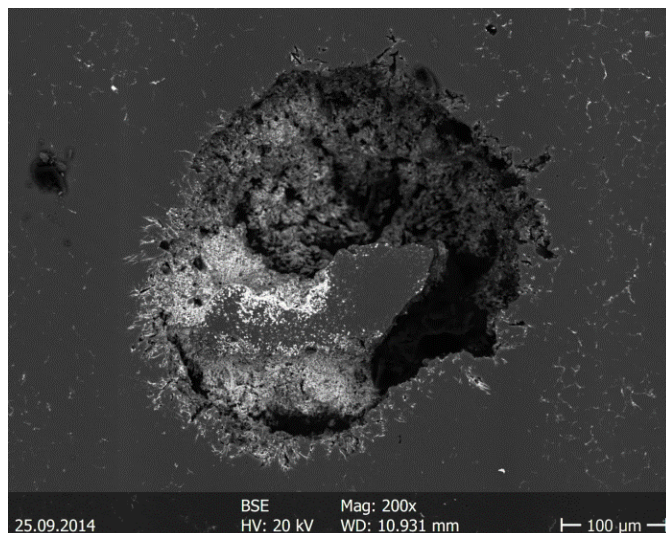


14. ábra: Baritszemcséket tartalmazó klaszt (balra) és fluorit (fehér hexaéder) visszaszórt elektronképe (jobbra) kőzetüvegben. Erdőbénye-Olaszliszka közötti kőfejtő.



15. ábra: Opálgömbök közetüvegben. Visszaszórt elektronkép.

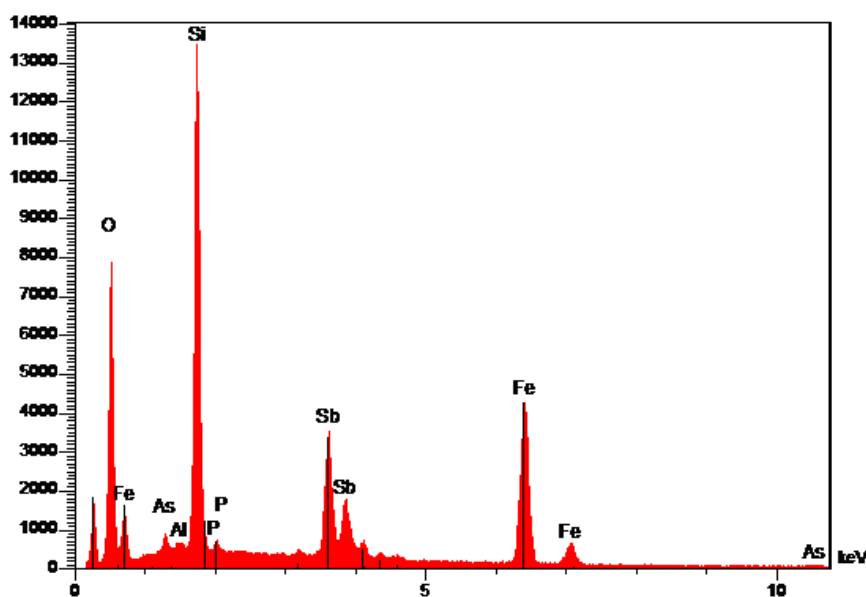
7. Fony, Csonkás: sávosan barnára, feketére színezett limnokvarcít, de a színezést annyira finom eloszlású anyag okozza, hogy a mikroszondában többnyire nem határozható meg (feltehetően vas-oxidok). A vöröses színű változatban esetenként azonban sikerült pár μm -es aggregátumokként Fe-Sb-As-tartalmú oxidokat azonosítani. Ezek feltehetően finom szálás antimonit és As-tartalmú pirit összenövésének oxidációs maradványai.



16. ábra: Sb-Fe-As-oxid tűs halmazai (fehér) kvarcban. Visszaszórt elektronkép.

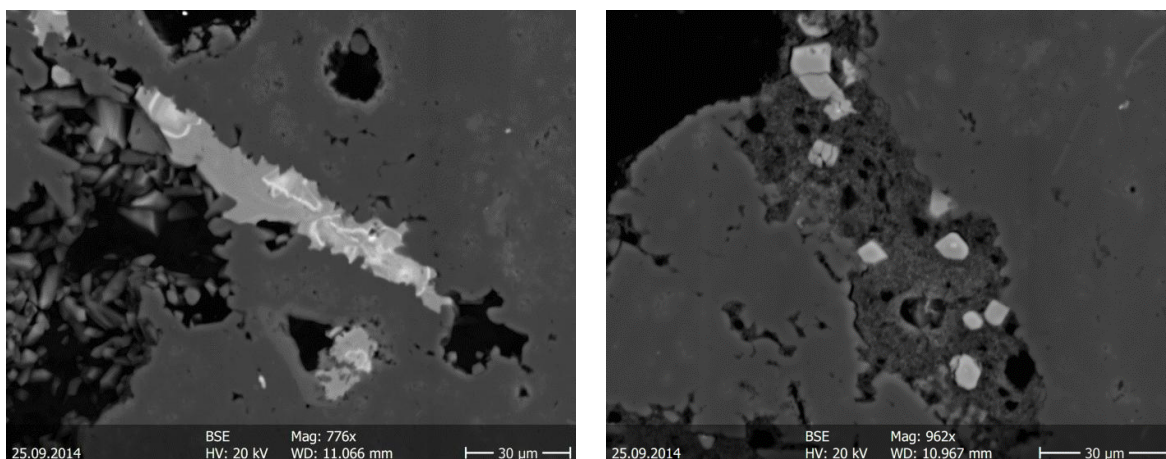
	tömeg%
Al ₂ O ₃	0.84
SiO ₂	41.04
P ₂ O ₅	1.56
FeO	29.38
As ₂ O ₅	2.77
Sb ₂ O ₃	24.42

6. táblázat: Sb-Fe-As-oxid kémiai összetétele EDS-elemzés alapján (a SiO₂-tartalom a környező kvarchoz tartozik).



17. Ábra: Sb-Fe-As-oxid EDS spektruma.

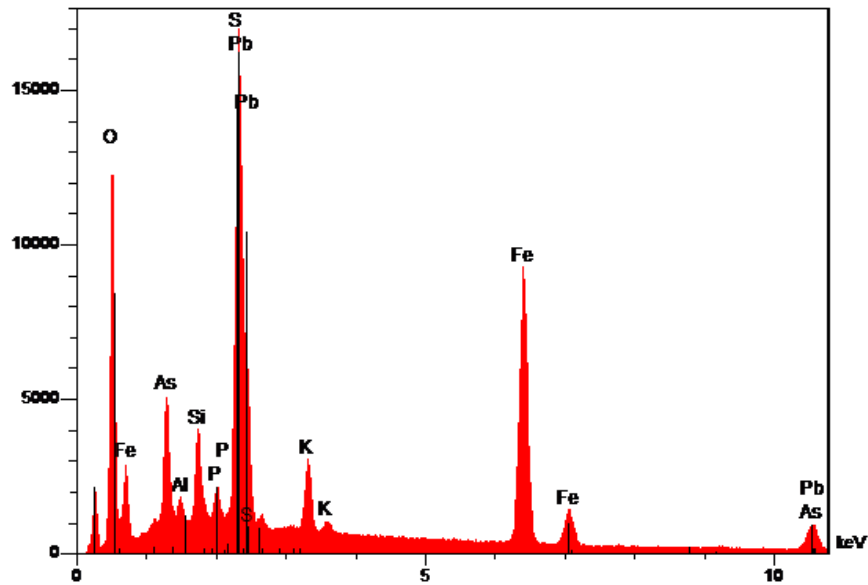
8. Fony, Csonkás: a mintát markazit-lécek és pirit-hexaéderek utáni vas-oxid átalakok, 5-10 µm-es xenomorf barit- és rutil-kristályok jellemzik. Továbbá 2-5 µm-es plumbojarosit-romboéderek átmetszetei, melyek kémiai zónásságot mutatnak az EDS-spektrumok alapján. A magjuk Pb-As-S-tartalmú (kémiai összetétele alapján beudantitnak tartható), és kevés P-t és K-ot tartalmaz. Szegélyük viszont a plumbojarosit kémiai komponenseit mutatja nem elhanyagolható As-tartalommal.



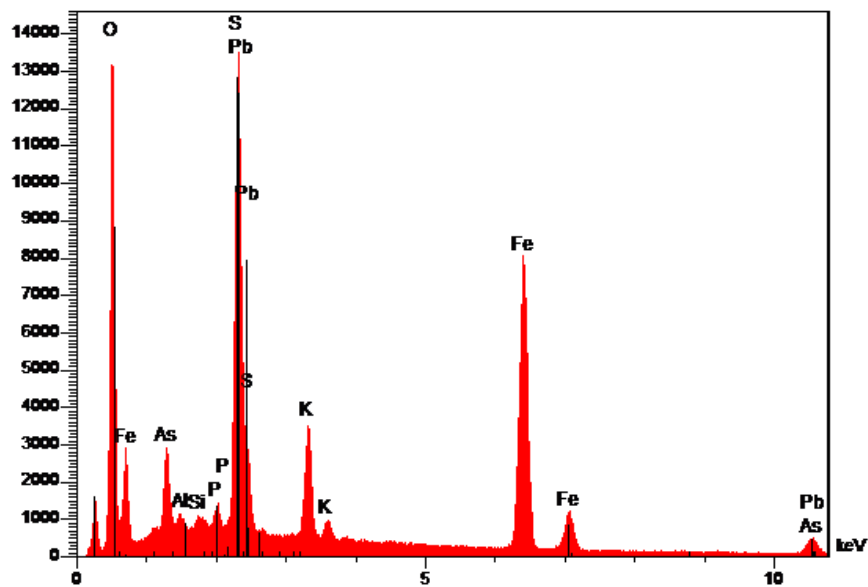
18. ábra: Kémiaileg zónás plumbojarositok (világosszürke) beudantit-maggal (fehér) kvarcban (sötétszürke). Visszaszórt elektronkép.

Ásvány		tömeg%
Beudantit	Al_2O_3	1.51
	SiO_2	4.56
	P_2O_5	2.34
	SO_3	17.13
	K_2O	3.81
	FeO	32.38
	As_2O_5	13.35
	PbO	24.93
K-As-tartalmú plumbojarosit	Al_2O_3	1.12
	SiO_2	0.85
	P_2O_5	1.86
	SO_3	25.33
	K_2O	5.80
	FeO	39.44
	As_2O_5	10.07
	PbO	15.55

7. táblázat: Beudantit és K-As-tartalmú plumbojarosit kémiai összetétele EDS-elemzés alapján.



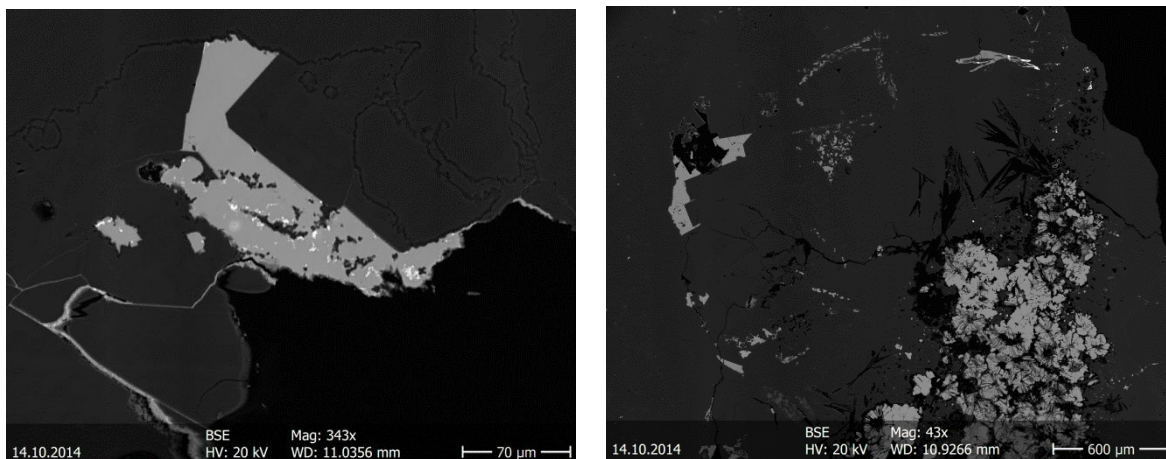
19. ábra: Beudantit EDS spektruma.



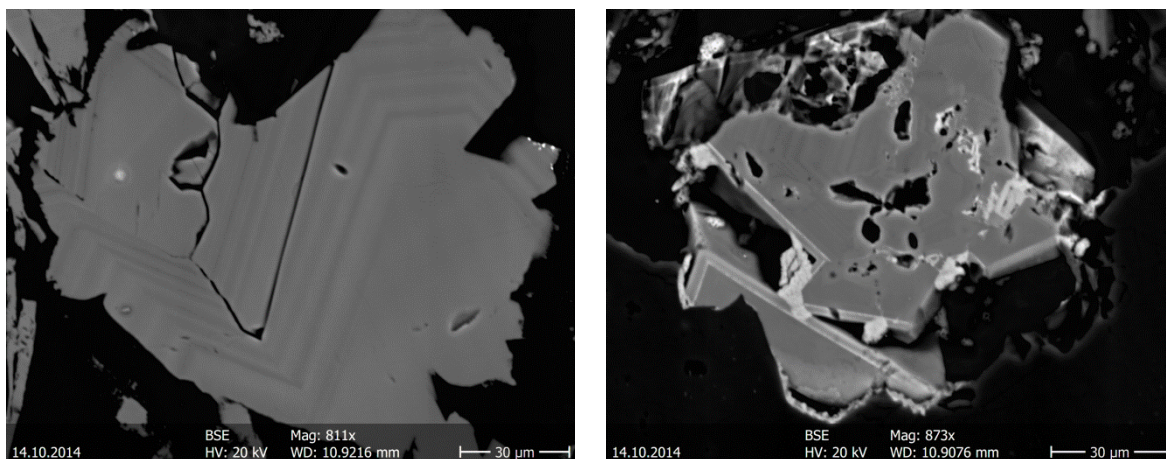
20. ábra: K-As-tartalmú plumbojarosit EDS spektruma.

9. Baskó: a vas-oxidok kivételével ebben semmilyen metallogén elemet tartalmazó fázist nem mutatnak az EDS-spektrumok, csupán a baritnak 10-20 μm -es elszórt szemcséit lehet megfigyelni.

10. Mád, Bánya-oldal: a döntően kvarcból álló mintát főként pirit- és barithintések jellemzik, de As-oxid, kevés Sb-tartalommal szintén megfigyelhető 10 µm-es szemcsenagyságban. Sok helyen piritet helyettesít a Fe-arzenát szkorodit, és a barittal együtt jelennek meg. Monacitot, valamint alunitot is bizonyítanak az EDS-spektrumok. Továbbá a kémiai zónásság is jellemző egyes fázisokra, így arzéntől zónás pirit, arzéntől zónás jarosit, és arzéntől zónás szkorodit figyelhető meg. Az utóbbihoz kapcsolódva egyes szemcsékben Ag-Hg-I tartalmat mutatnak az EDS-spektrumok.



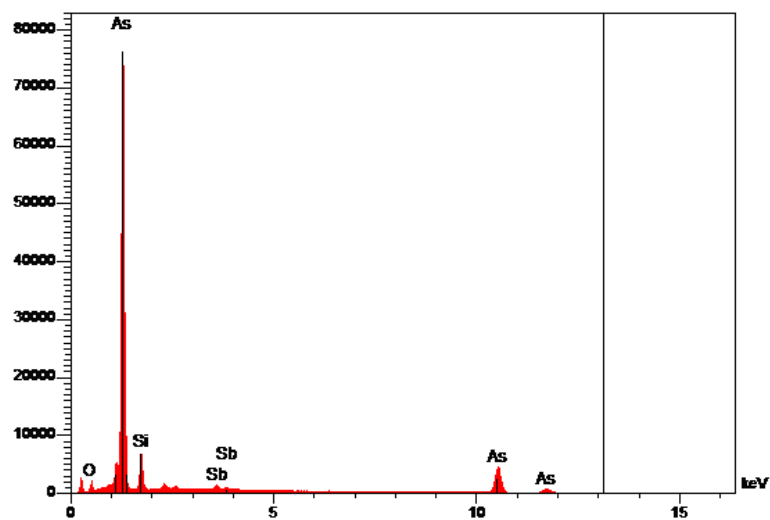
21. ábra: Szkorodit (szürke), baritszemcsékkel (fehér) (balra), valamint As-zónás pirit (jobbra) visszaszórt elektronképei.



22. ábra: Kémiai zónás szkorodit (balra) és As-tartalmú zónás jarosit (jobbra) visszaszórt elektronképei. A zónás szkorodit jobb felső sarkában lévő apró szemcsék (fehér) Ag-Hg-I tartalmúak.

	tömeg%
SiO ₂	9.15
As ₂ O ₅	89.33
Sb ₂ O ₃	1.52

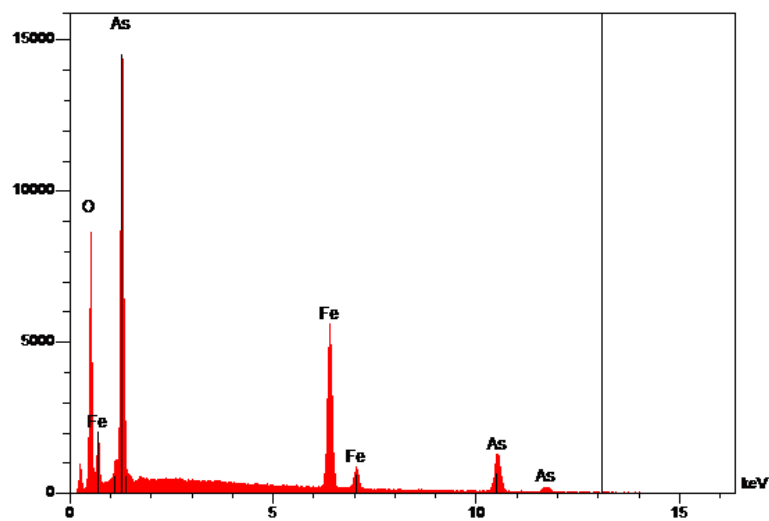
8. táblázat: As-oxid kémiai összetétele EDS-elemzés alapján.



23. ábra: As-oxid EDS spektruma.

	tömeg%
FeO	32.43
As ₂ O ₅	67.57

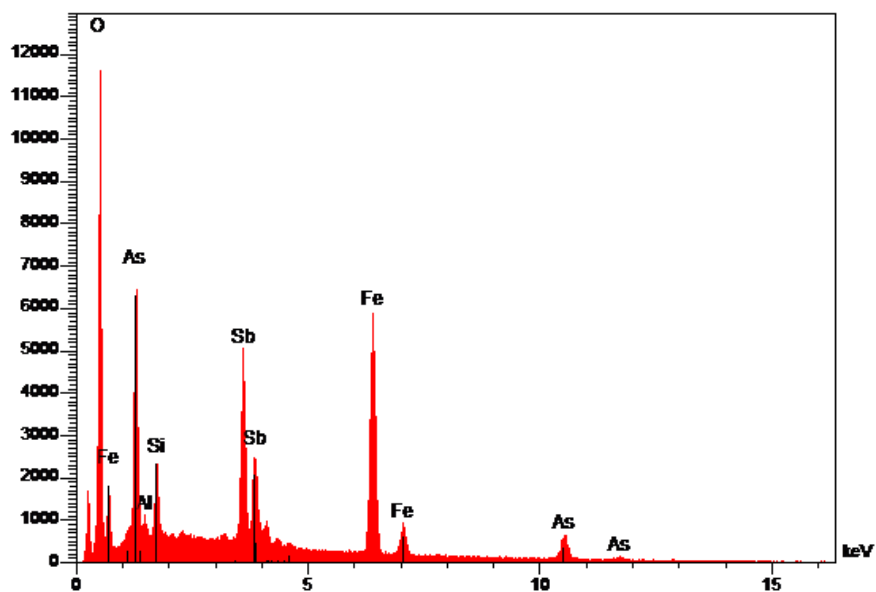
9. táblázat: Fe-arzenát (szkorodit) kémiai összetétele EDS-elemzés alapján.



24. ábra: Fe-arzenát (szkorodit) EDS spektruma.

	tömeg%
Al_2O_3	2.00
SiO_2	6.47
FeO	32.45
As_2O_5	32.32
Sb_2O_3	26.76

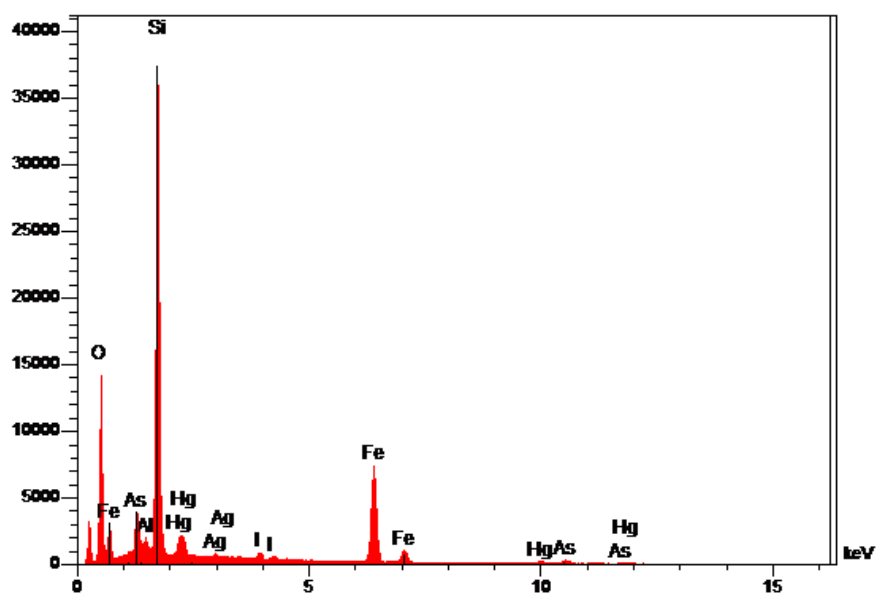
10. táblázat: Sb-Fe-arzenát kémiai összetétele EDS-elemzés alapján.



25. ábra: Sb-Fe-arzenát EDS spektruma.

	tömeg%
Al_2O_3	2.26
SiO_2	57.29
FeO	24.65
As_2O_5	8.52
Ag_2O	0.74
I	1.78
Hg	4.77

11. táblázat: Ag-Hg-I tartalmú fázis kémiai összetétele EDS-elemzés alapján (a Si-Fe-As-tartalom a környező kvarchoz és szkorodithoz tartozik).



26. ábra: Ag-Hg-I tartalmú fázis EDS spektruma.

7.2. XRD-VIZSGÁLATOK

A röntgen-pordiffrakciós (továbbiakban XRD) vizsgálat a porított mintákon történő kristályos fázisok azonosítására szolgál.

Az Ásvány-és Kőzettani Intézeti Tanszéken végzett XRD-vizsgálatok Bruker D8 Advance (Cu k-alfa sugárzás, 40 kV, 40 mA) nevű műszerrel történtek, Göbel-tükörrel előállított párhuzamos nyaláb geometriával, Vantec-1 helyzetű érzékelő detektorral.

A kiértékelés DiffraPlus EVA szoftverében, Search/Match algoritmussal, az ICDD PDF2 2005 adatbázisa alapján készült. A vizsgálat elvégzésében Dr. Kristály Ferenc segített.

Mintáim közül az alábbiakról készültek XRD-felvételek: 3, 4, 5, 8, 10. Összességében megállapítható, hogy a SEM-EDS vizsgálatokkal azonosított kicsiny méretű fázisokat (pl. a kémiaiilag változatos jarositféléket) ezekkel a felvételekkel, – éppen roppant kicsiny méretük miatt – nem lehetett azonosítani. A felvételeken az uralkodó fázisok reflexiói jelennek meg, így legtöbbször a limnokvarcit fő kőzetalkotója a kvarc. Az 5. mintában, – mely egy kovásodott kristálytufa – ezzel szemben az uralkodó szanidin és kvarc reflexiói, illetve a kőzetüveget jelző kiszélesedő reflexiók jelennek meg. A 10. mintában a kvarc mellett az alunit, és a szkorodit jelenléte is bizonyítást nyert. A 3. mintában pedig az antimonit és sztibikonit reflexiói azonosíthatók a kvarc mellett.

7.3 A REKULTIVÁCIÓ KIVITELEZÉSE SORÁN KAPOTT EREDMÉNYEK

A bevezetésben említett „Az Abaúj-Zempléni Szilárdhulladék Gazdálkodási Önkormányzati Társulás területén lévő 9 db felhagyott szilárdhulladék lerakó rekultivációja” című, KEOP-2.3.0/B/11-2011-0001 kódszámú projektben a kivitelezési munkák elvégzését közösségi, nyílt közbeszerzési eljárás során a BOLDOGKŐ 2012 Konzorcium (KÖZGÉP Zrt. és DHJ Építő Kft.) nyerte el.

A dolgozatom kiindulási pontját szolgáltató adatokat [12], vagyis a Tamás Gy. által képviselt cég kapott vizsgálati eredményeit, ebben az alfejezetben ismertetem. Csupán öt helyszín (Baskó, Fony, Golop, Mád és Olaszliszka) adatai állnak rendelkezésemre, de azok teljes részletességgel, a kormányrendelet szerinti 'B' szennyezettségi határértékkel ellátva. Mivel az ő vizsgálatuk több elemre terjedt ki, így a higany, az arzén és az antimon eredményeit kék színnel emelem ki a következő táblázatokban.

Mád:

vizsgált szennyező	ME	1.	2.	3.	4.	5.	6.	'B' szennyezettsé gi határérték
összes króm	mg/kg	32,3	30,6	33,5	34,2	39,2	38,8	75
króm (VI)	mg/kg	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	1
kobalt	mg/kg	8,33	8,47	8,02	7,54	8,65	8,27	30
nikkel	mg/kg	22,4	22,7	22,7	19,6	24,8	22,7	40
réz	mg/kg	14,5	15,2	13,3	22,5	15,1	20,9	75
cink	mg/kg	47,4	44,3	44,1	102	64,1	77,0	200
<i>arzén</i>	<i>mg/kg</i>	<i>24,5</i>	<i>26,2</i>	<i>30,8</i>	<i>78,4</i>	<i>35,2</i>	<i>41,8</i>	<i>15</i>
szelén	mg/kg	0,95	0,81	0,59	0,75	0,60	0,62	1
molibdén	mg/kg	0,49	0,56	0,43	0,96	0,50	0,61	7
kadmium	mg/kg	0,34	0,21	0,29	0,56	0,30	0,41	1
ón	mg/kg	0,44	0,27	0,45	2,92	1,83	2,45	30
bárium	mg/kg	224	230	274	240	231	247	250
<i>higany</i>	<i>mg/kg</i>	<i>0,03</i>	<i>0,02</i>	<i>0,01</i>	<i>0,18</i>	<i>0,05</i>	<i>0,09</i>	<i>0,5</i>
ólom	mg/kg	32,2	20,5	20,6	30,0	18,1	25,1	100
ezüst	mg/kg	0,05	0,04	0,04	0,10	0,06	0,08	2
<i>antimon</i>	<i>mg/kg</i>	<i>3,56</i>	<i>3,51</i>	<i>7,25</i>	<i>13,90</i>	<i>5,03</i>	<i>6,35</i>	<i>5</i>
bór	mg/kg	48	41,4	42,2	26,1	26,9	15,9	1000

12. táblázat: A Mádról származó minták kémiai elemzésének eredményei [12]

Baskó:

vizsgált szennyező	ME	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	'B' szennyezett égi határérték
összes króm	mg/kg	26,6	32,0	28,0	29,1	27,7	32,9	30,4	27,7	26,5	75
króm (VI)	mg/kg	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	1
kobalt	mg/kg	9,97	12,1	20,0	11,1	7,2	12,2	21,4	10,4	12,9	30
nikkel	mg/kg	11,4	12,0	13,6	9,4	7,6	9,8	14,5	11,1	11,7	40
réz	mg/kg	14,4	17,4	12,9	13,3	12,9	11,3	17,9	14,8	14,1	75
cink	mg/kg	52,9	61,5	42,9	47,8	79,1	45,8	65,7	66,0	62,9	200
<i>arzén</i>	<i>mg/kg</i>	<i>13,4</i>	<i>13,2</i>	<i>13,6</i>	<i>18,7</i>	<i>16,9</i>	<i>9,1</i>	<i>16,4</i>	<i>5,51</i>	<i>8,61</i>	<i>15</i>
szelén	mg/kg	0,56	0,69	0,67	0,77	0,87	0,54	0,87	0,54	0,39	1
molibdén	mg/kg	0,48	0,61	0,64	0,60	0,63	0,54	0,94	0,29	0,56	7
kadmium	mg/kg	0,34	0,44	0,26	0,28	0,44	0,22	0,38	0,36	0,32	1
ón	mg/kg	1,49	3,54	1,22	2,48	2,99	1,55	1,53	1,39	1,46	30
<i>higany</i>	<i>mg/kg</i>	<i>0,30</i>	<i>0,20</i>	<i>0,15</i>	<i>0,20</i>	<i>0,12</i>	<i>0,1</i>	<i>0,14</i>	<i>0,48</i>	<i>0,56</i>	<i>0,5</i>
ólom	mg/kg	18,0	24,2	26,4	16,8	18,2	18,1	24,4	19,9	20,1	100
ezüst	mg/kg	0,04	0,06	0,04	0,11	0,13	0,09	0,06	0,09	0,08	2
<i>antimon</i>	<i>mg/kg</i>	<i>1,30</i>	<i>1,18</i>	<i>1,84</i>	<i>0,84</i>	<i>0,95</i>	<i>0,66</i>	<i>1,30</i>	<i>0,83</i>	<i>0,91</i>	<i>5</i>
bór	mg/kg	4,23	5,62	5,02	3,07	4,76	3,98	3,24	7,09	3,27	1000
bárium	mg/kg	142	159	162	117	387	139	168	253	395	250

13. táblázat: A Baskóról származó minták kémiai elemzési eredményei [12]

Fony:

vizsgált szennyező	ME	1.	2.	3.	4.	5.	6.	'B' szennyezettségi határérték
összes króm	mg/kg	10,4	33,7	25,1	30,4	29,2	13,7	75
króm (VI)	mg/kg	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,4	< 0,4	< 0,4	1
kobalt	mg/kg	1,66	5,59	15,7	8,21	6,96	3,88	30
nikkel	mg/kg	2,88	11,0	16,5	10,6	9,94	11,4	40
réz	mg/kg	4,87	12,3	15,9	11,0	11,9	14,4	75
cink	mg/kg	20,8	53,5	71,3	50,1	47,5	76,9	200
<i>arzén</i>	<i>mg/kg</i>	<i>121</i>	<i>115</i>	<i>17</i>	<i>49,7</i>	<i>79,3</i>	<i>9,30</i>	<i>15</i>
szelén	mg/kg	0,28	0,3	0,32	0,46	0,33	0,53	1
molibdén	mg/kg	< 1	< 1	< 1	0,55	0,65	0,35	7
kadmium	mg/kg	0,87	0,91	0,4	0,30	0,38	0,39	1
ón	mg/kg	< 1	< 1	< 1	1,56	1,60	2,74	30
bárium	mg/kg	37,1	94,3	130	123	122	177	250
<i>higany</i>	<i>mg/kg</i>	<i>< 0,05</i>	<i>0,06</i>	<i>0,07</i>	<i>1,05</i>	<i>3,54</i>	<i>0,25</i>	<i>0,5</i>
ólom	mg/kg	31,2	24,0	29,6	26,4	25,9	35,0	100
ezüst	mg/kg	< 2	< 2	< 2	0,06	0,05	0,06	2
<i>antimon</i>	<i>mg/kg</i>	<i>458</i>	<i>539</i>	<i>35,0</i>	<i>118</i>	<i>96,5</i>	<i>1,74</i>	<i>5</i>
bór	mg/kg	2,3	9,8	130	10,2	7,20	12,1	1000
TPH	mg/kg	< 50	< 50	< 50	10,5	58,5	20,5	100

14. táblázat: A Fonyról (Cigánytövis) származó minták kémiai elemzési eredményei

[12]

Golop:

vizsgált szennyező	ME	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	'B' szennyezet tségi határérték
összes króm	mg/kg	21,2	15,6	19,2	30,2	21,6	25,6	19,5	24,1	75
króm (VI)	mg/kg	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	1
kobalt	mg/kg	5,32	3,04	3,57	7,13	5,80	7,58	5,29	6,78	30
nikkel	mg/kg	12,9	6,55	9,54	21,7	18,9	18,8	14,7	18,5	40
réz	mg/kg	12,4	5,88	9,21	39,5	41,5	21,6	17,8	36,8	75
cink	mg/kg	49,9	24,0	34,7	189	164	92,4	75,7	133	200
<i>arzén</i>	<i>mg/kg</i>	<i>140</i>	<i>152</i>	<i>154</i>	<i>146</i>	<i>124</i>	<i>59,9</i>	<i>109</i>	<i>89,9</i>	<i>15</i>
szelén	mg/kg	0,82	0,57	0,57	0,93	1,05	0,84	0,59	0,70	1
molibdén	mg/kg	0,89	0,47	0,55	2,86	2,43	0,92	0,93	1,33	7
kadmium	mg/kg	1,46	0,17	0,24	0,87	0,57	0,37	0,29	0,51	1
ón	mg/kg	2,91	3,12	2,91	4,15	4,86	3,60	2,79	3,77	30
<i>higany</i>	<i>mg/kg</i>	<i>0,54</i>	<i>0,33</i>	<i>0,46</i>	<i>0,70</i>	<i>0,43</i>	<i>0,21</i>	<i>0,38</i>	<i>0,39</i>	<i>0,5</i>
ólom	mg/kg	38,6	28,2	29,7	40,6	32,3	31,2	39,9	50,7	100
ezüst	mg/kg	0,06	0,03	0,05	0,12	0,12	0,09	0,08	0,18	2
<i>antimon</i>	<i>mg/kg</i>	<i>12,0</i>	<i>17,9</i>	<i>18,2</i>	<i>12,3</i>	<i>12,1</i>	<i>8,65</i>	<i>12,8</i>	<i>11,2</i>	<i>5</i>
bór	mg/kg	26,4	9,48	13,0	28,8	14,5	<0,1	<0,1	<0,1	1000
bárium	mg/kg	120	84,8	108	255	204	148	123	174	250

15. táblázat: A Golopról (Somos-hegyről) származó minták kémiai elemzési eredményei [12]

Olaszliszka-Erdőbénye közötti kőfejtő:

Minta jele	ME	1.	2.	3.
Ag	mg/kg	0,18	0,16	0,05
<i>As</i>	<i>mg/kg</i>	<i>63,1</i>	<i>12,1</i>	<i>7,99</i>
B	mg/kg	53,1	17,4	7,86
Ba	mg/kg	345	76,2	34,2
Br	mg/kg	6,66	4,70	4,13
Cd	mg/kg	2,14	0,76	1,62
Co	mg/kg	5,82	1,45	1,06
Cr	mg/kg	45,9	8,13	5,44
Cu	mg/kg	83,6	18,9	8,86
<i>Hg</i>	<i>mg/kg</i>	<i>0,30</i>	<i>0,53</i>	<i>0,10</i>
Mo	mg/kg	2,16	0,62	0,34
Ni	mg/kg	24,1	5,12	4,49
Pb	mg/kg	99,7	18,0	9,30
<i>Sb</i>	<i>mg/kg</i>	<i>5,43</i>	<i>1,09</i>	<i>0,74</i>
Se	mg/kg	0,76	0,32	0,10
Sn	mg/kg	13,1	2,59	1,24
Zn	mg/kg	591	155	66,4

16. táblázat: Az Olaszliszka-Erdőbénye közötti kőfejtőből származó minták kémiai elemzési eredményei [12]

A fenti táblázatokból jól látszik, hogy a vizsgált minták toxikus fémtartalma valóban magas, és meghaladja a „A földtani közeg és a felszín alatti vízszennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről” szóló 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet [11] 'B' szennyezettségi határértékét is. Ez különösen a higany-, arzén- és antimonértékekre igaz.

8. DISZKUSSZIÓ

Az elvégzett nedveskémiái elemzésekkel és SEM-EDS vizsgálatokkal a következő megállapításokat lehet tenni a vizsgált térségekből származó minták higany-, arzén- és antimontartalmáról, illetve ásványos fázisokban történő megjelenéséről:

Antimon: Legnagyobb dúsulások Fony feltárásaiban tapasztalhatók, a maximumok 540 és 460 mg/kg [12]. Megfigyelhető, hogy az antimon dúsulása az arzénnel együtt mozog. Az antimont elsődlegesen az antimonit hordozza. Ez az oxidáció hatására Sb-oxiddá (sztibikonit), illetve Sb-Fe-oxiddá alakult át. Nem ritkán azonban szorosan vas-oxidokhoz kapcsolódik az arzénnal együtt, minden bizonnyal adszorpciós módon megkötődve. A legmagasabb antimon-koncentráció feltehetően a Rátka, Kolduról származó mintákban lehet, hiszen ezekben jelenik meg az antimonit legnagyobb mennyiségben a limnokvarcit egyes feltárásaiban.

Arzén: A legnagyobb dúsulások Fonyon, Golopon, Olaszliszkán és Mádon találhatók, a maximumok: 120, 150, 63 és 80 mg/kg [12]. Az arzén elsődlegesen piritben helyettesítő elemként van jelen, melyre bizonyítékok a mádi Bánya-oldal mintái. Ritkán realgár formájában is meg lehetett figyelni a rátkai feltárásokban – megjelenése itt is elsődlegesnek tartható. Oxidációs folyamatok hatására a szabaddá váló arzén elsősorban jarositokba épül be a kén helyére vagy vas-oxidokhoz kötődik, mindkét típust sikerült kimutatni. Utóbbiaknál adszorpcióval dúsul azok porózus felszínén, a jarositokban pedig ként helyettesít a kristálynövekedés kezdeti szakaszában (mivel ezt a helyettesítést párhuzamosan az ólom beépülése kíséri, ez az összetétel átmenetet mutat a beudantit felé). A mádi feltárásban (Bánya-oldal) szkorodit jelenik meg hidrotermás alunítokristályokra fenn-növe, melyek a szöveti képeknek megfelelően másodlagos képződésűek. Az ehhez szükséges arzént az arzéntartalmú pirit mállása szolgáltatja. Ezekben a mintákban As-oxid is megfigyelhető.

Higany: A higany legnagyobb koncentrációi a fonyi és golopi feltárásokra jellemzőek, ezek maximumai: 3,5 és 0,7 mg/kg [12]. Ezek a dúsulások nagyjából egyeznek az arzén és antimon felszaporodásával. A higany ásványos formában döntően cinnabarit formájában van jelen, mely minden bizonnyal elsődleges kiválás mindenütt. Eddig egyedül a Mád, Bánya-oldalról származó mintában lehetett észlelni roppant kis méretű, – másodlagosnak tartható – Ag-Hg-I tartalmú szemcséket a kémiaiag zónás szkoroditok szegélyén. Megemlíthető, hogy a legyesbényei polimetallikus ércindikációban szintén kimutattak egy jodidot, az AgI jódargirit formájában [14]. A legmagasabb higany-

koncentráció Fony, Csonkásról ismeretes, több mintában is jelen van, akár 2-4 cm-es kérégek vagy porszerű hintések formájában cinnabaritként.

Egyéb metallogén fázisok: Az ólom elsődlegesen galenitként, másodlagosan a jarositok magjában megfigyelt Pb-Fe-arzenát-szulfáthoz (beudantit), illetve K-As-P-tartalmú plumbojarositokhoz kapcsolódik. A cink elsődlegesen cink-szulfidként (szfalerit?), míg a réz kalkopiritként, illetve covellinként volt észlelhető. Az ezüstöt eddig csak egy Ag-Hg-jodidos fázis formájában lehetett kimutatni, de minden bizonnyal egyes jarositokban is jelen lehet. Érdemes megemlíteni, hogy az ólom-koncentráció Olaszliszkán, míg az ezüst-koncentráció Fonyban eléri a toxikus fémekre megengedett határértéket.

Amint már korábban is említettem, az Európai Unió pályázatot elnyerő cég által végzett mintavételezés a humuszos termőtalaj alatti kőzetekből történt, kb. 30 cm-es mélységből, amely néhol a nagyobb kőzettörmelék miatt gyakorlatilag a felszínről összegyűjtött kőzetanyag volt. [12]

Vizsgálataim során én is kőzetekre, azok szilárd ásványfázisaira koncentráltam, így nem foglalkoztam a kőzetek málladékából keletkező gélekhez, sok felszíni töltéssel rendelkező makromolekulákhoz adszorptívan kötődő nehézfémekkel. Ehhez az is hozzájárult, hogy a SEM-EDS vizsgálattal csupán a μm -nél nagyobb fázisok vizsgálhatók biztonsággal.

9. ÖSSZEFOGLALÁS

A bevezetésben feltett kérdést, miszerint a Mád, Rátka, Golop, Fony, Baskó és Olaszliszka térségében rekultivált hulladéklerakó-helyeken a magasabb higany-, antimon- és arzén-koncentráció természetes jelenség-e, vagyis földtani-geokémiai okok állnak a fémdúsulások mögött, vagy a korábban ezeken a helyeken felhalmozott szilárdhulladék okozza-e az anomáliát, megvizsgáltam.

Tanulmányoztam a térség földtanát, ásvány- és kőzettani hátterét, valamint korábbi kutatások eredményeit. Ezek szerint a Tokaji-hegységben elterjedt jelenség a kovásodott kőzetek magasabb higany-, antimon- és arzéntartalma, amely a vulkáni utóműködési folyamatoknál a hidrotermális feláramlási csatornákra jellemző, és epitermális képződésre utal.

Ezután a cél elérése érdekében a kérdéses területekről mintákat vettem, és megvizsgáltam azokat fénymikroszkóppal, polarizációs mikroszkóppal, elektronmikroszondával (SEM-EDS) és röntgen-pordiffrakcióval (XRD).

A SEM-EDS vizsgálatok sok új információt eredményeztek, hiszen szinte mindegyik mintában azonosítottam valamilyen toxikus fémeket tartalmazó fázist. Mindhárom elem (Hg, As, Sb) megfigyelhető volt ásványos fázisokként, melyek között elsődleges, és a mállási folyamatok eredményeként másodlagos eredetű ásványok egyaránt jelen voltak. Az elsődleges, hidrotermális eredetű ásványok elsősorban szulfidok, míg a másodlagosak főként szulfátok, arzenátok és oxidok.

Tehát megállapítható, hogy alapvetően ásványtani-geokémiai okok állnak a toxikus fémek dúsulásai mögött, és nem a korábban ott felhalmozott szilárdhulladék okozza ezt az anomáliát a Tokaji-hegységben.

10. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretném kifejezni köszönetemet Dr. Szakáll Sándornak, témavezetőmnek, aki a dolgozatom megírásának minden fázisában segített, a témaválasztástól kezdve, a terepbejáráson át, egészen az eredmények kiértékeléséig.

Továbbá szeretném megköszönni Debus Délia laboránsnak, hogy segített a csiszolatok elkészítésénél és a porításnál, és hogy ezekkel kapcsolatban mindent részletesen elmagyarázott nekem.

Köszönetet mondok Turi Juditnak, hogy segített a polarizációs mikroszkópnál, valamint a SEM-EDS vizsgálatoknál; Dr. Kristály Ferencnek, hogy segített az XRD-vizsgálatoknál, valamint a tanszék összes dolgozójának, hogy mindig bizalommal fordulhattam hozzájuk, és lelkesítő megjegyzéseikkel támogatták munkámat.

11. IRODALOMJEGYZÉK

A linkek utolsó ellenőrzésének időpontja: 2014. 10. 27.

- [1] Szabó J. (1870): Antimonit opál-érben Erdőbényén. A Magyarhoni Földtani Társulat Munkálatai, 5, 194-195.
- [2] Szakáll S. (1990): Jelentés a Tokaji-hegység Hg-Sb indikációinak ásványtani és geokémiai vizsgálata c. kutatási szerződésről. Kutatási jelentés. Kézirat. Központi Földtani Hivatal. Budapest.
- [3] Jánosi M., Papp G. (1985): Sztibikonit és antimonit Rátkáról. Ásványgyűjtő Figyelő, 2 (4), 18–21.
- [4] Mátyás E. (1971): A Sárospatak-botkői cinnabarit földtani vizsgálata. Kutatási jelentés. Kézirat. Mád.
- [5] Mátyás E. (1978): A Tokaji-hegység ércindikációi. Kutatási jelentés. Kézirat. Mád.
- [6] Hegyi J. (1988): Tokaj hegységi kőzetminták laboratóriumi vizsgálata. Kutatási jelentés. Kézirat. Komló.
- [7] Mátyás T. (1989): Tokaji-hegységi kovás kőzetek higanyvizsgálata. Kutatási jelentés. Kézirat. Mád.
- [8] Szakáll S. (1990): Új higany-indikációk a Tokaji-hegységben. Folia Hist.-nat. Mus. Matraensis, 15, 11–16.
- [9] Mátyás T. (1998): A Szerencsi-dombság regionális geokémiai kutatása. Topographia Mineralogica Hungariae III. Herman Ottó Múzeum, Miskolc. 21-24.
- [10] „A felszín alatti vizek védelméről” szóló 219/2004. (VII. 21.) Kormányrendelet.
http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A0400219.KOR
- [11] „A földtani közeg és a felszín alatti vízszennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről” szóló 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet.
http://www.complex.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A0900006.KVV
- [12] Tamás Gy., a KÖZGÉP Építő- és Fémszerkezetgyártó Zrt. munkatársa által szolgáltatott adatok
- [13] <http://zoldzemlen.hu/reku/rekultivacios-projekt-bemutatasa>
- [14] Szakáll S., Kovács Á. (1998): A Szerencsi-dombság ásványai. Topographia Mineralogica Hungariae. III. Herman Ottó Múzeum, Miskolc. 25-72.

1. FÜGGELÉK

A terepbejárás során személyesen gyűjtött kőzetmintákat a makroszkópos leírás érdekében először szabad szemmel, majd Zeiss hallgatói sztereomikroszkóppal vizsgáltam meg. A vizsgálat célja az egyes kőzetminták szövetének, színének, főbb alkotó fázisainak, valamint egyéb jellegzetességeinek a megállapítása volt.

Ezután a felületi csiszolatok elkészítése következett SEM-EDS vizsgálatra, valamint porítás a röntgen-pordiffrakciós (XRD) vizsgálatra. Mindkét műveletet a Miskolci Egyetem Ásvány- és Kőzettani Intézeti Tanszék laboratóriumában végeztem el, bővebb leírásuk a 6. Minta-előkészítés című fejezetben található.

Az elkészült felületi csiszolatokat a SEM-EDS vizsgálat előtt Zeiss AxioCam MRc5 nevű kamerával ellátott Zeiss Imager.A2m AXIO polarizációs mikroszkóppal vizsgáltam meg ráeső fényben. A polarizációs mikroszkóppal 1 nikolnál a csiszolatok reflexióképességét, bireflexióját és reflexiós pleokroizmusát, keresztezett nikolnál pedig belső reflexét, valamint anizotróp színhatását vizsgáltam. Ez azért volt hasznos, mert még a SEM-EDS vizsgálat előtt azonosítani tudtam a mintákban a leginkább keresett ásványokat (cinnabarit, antimonit), hiszen minden ásványnak specifikus, csak rá jellemző tulajdonságai vannak. Ráadásul a polarizációs mikroszkópra szerelt kamerával nagyfelbontású, színes képeket tudtam készíteni, és így kiegészíteni és változatosabbá tenni a SEM-EDS vizsgálat során készült visszaszórt elektronképeket.

A SEM-EDS vizsgálatoknál részt vettem az észlelésekben, a várt fázisok keresésében. A kapott EDS elemzési adatokat összevettem az irodalmi adatokkal, hogy ásványi fázisokhoz rendeljem azokat.