



Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar
Földtan- Teleptani Intézeti Tanszék



**A rudabányai ólom-cink ércesedés genetikai viszonyai – összehasonlítás a
mežicai ércesedéssel**

**Similarities and differences between genetical characteristics of lead-zinc
ore mineralization at Rudabánya and Mežica**

Pályamunka

XXXI. Országos Tudományos Diákköri Konferencia



Készítették:

Berentés Ágnes, MSc mérnök hallgató, ME-MFK
Czeglédi Balázs, MSc mérnök hallgató, ME-MFK
Hajdu István, MSc mérnök hallgató, ME-MFK

Konzulens:

Dr. Németh Norbert
egyetemi adjunktus
ME-MFK

Miskolc, 2012

Eredetiségi nyilatkozat

"Alulírott Berentés Ágnes, Czeglédi Balázs, Hajdú István, Kapi Albert a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karának hallgatói büntetőjogi és fegyelmi felelősségünk tudatában kijelentjük és aláírásunkkal igazoljuk, hogy ezt a dolgozatot saját magunk készítettük, a benne leírt vizsgálatokat – ha ezt külön nem jelzem – magunk végeztük el, és az ismertett eredményeket magunk értük el. Adatokat, információkat csak az irodalomjegyzékben felsorolt forrásokból használtunk fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettünk, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltük."

Miskolc, 2012. 12. 20.

.....
.....
.....
.....

a hallgatók aláírása

Konzulensi nyilatkozat

"Alulírott Dr. Németh Norbert, a Miskolci Egyetem Ásványtani- Földtani Intézetének adjunktusa a TDK dolgozatot beadásra alkalmasnak ítélem."

Egyéb megjegyzések, ajánlás:

Miskolc, 2012. 12. 20.

.....

Dr. Németh Norbert
egyetemi adjunktus

Tartalomjegyzék

Összefoglalás	1
1. Bevezető	2
2. Rudabánya	3
2. 1. Földrajzi és földtani helyzete	3
2. 2. Korábbi földtani ismeretek	4
2. 3. Bányászat- és kutatástörténet	5
2. 4. Kőzettani felépítés, rövid fejlődéstörténet	6
2. 5. Rudabányai sztratiform, ólom-cinkércesedés:	9
3. Mežicai és Topla	11
3. 1. Mežica földrajzi és földtani elhelyezkedése	11
3. 2. Bányászattörténet	12
3. 3. Az ércesedés geológiai viszonyai, kialakulása, típusai	13
3. 4. Mežica és Topla lelőhelyekről származó minták petrológiai vizsgálata	18
3. 4. 1. Az ércetek leírása, makroszkópikus leírás	18
3. 5. Mikroszkópos és SEM megfigyelések:	19
3. 5. 1. Mežicai telepekből gyűjtött minták	19
3. 5. 2. Toplai Öreg bányarészből gyűjtött minták	21
4. Következtetések, a rudabányai sztratiform Pb-Zn- és a toplai ércesedés hasonló teleptani jellegzetességei	26
5. Köszönetnyilvánítás	29
Felhasznált irodalom	30
Mellékletek	

A rudabányai ólom-cink ércesedés genetikai viszonyai – összehasonlítás a mežicai ércesedéssel

Similarities and differences between genetical characteristics of lead-zinc ore mineralization at Rudabánya and Mežica

Összefoglalás

Az Északkelet-Magyarországon folyó ércutatások egyik célpontja Rudabánya, ahol viszonylag kis területen különböző típusú, egymástól eltérő korú ércesedések ismertek. A legidősebbnek tartott ezek közül egy SEDEX (Sediment-hosted Exhalative) típusú cink-ólmércesedés. Az agyagmárga rétegekhez kötött ásványosodás új keletű felfedezés, melynek jobb megértése céljából analóg földtani modellt kerestünk. Az ércesedett kőzetek rétegtanilag alpi rokonságúak, elsősorban a hasonló rétegtani szintben ismert érctelepek vizsgálata látszott indokoltnak.

Rétegtani hasonlóság és feltételezett tektonikai kapcsolat miatt a rudabányai Zn-Pb ércesedések eddigi ismereteit a Szlovéniában található mežicai (Mississippi Valley típusú - MVT) és toplai (SEDEX) ércesedések jellemzőivel vetettük össze. A vizsgálatok elvégzéséhez a mintákat egy három napos terepi bejárás során gyűjtöttük, azokat a Miskolci Egyetem Ásványtani és Földtani Intézetben modern anyagvizsgáló módszerekkel vizsgáltuk.

Párhuzamot leginkább a rudabányai SEDEX és a toplai ércesedés között vonhatunk, amit a következő megfigyelések támasztanak alá: a szfalerit, galenit és vas-szulfid ásványok hasonló mérettartománya és szöveti szerkezeti képe; kristálykémiai tulajdonságok: a galenit alacsony ezüsttartalma, a szfalerit alacsony kadmium-tartalma; valamint a két lelőhelyről származó galenitek egybevágó ólomizotóp-arányai.

A hasonlóságok mellett természetesen különbségek is felfedezhetők, melyek az alábbiak. Alapvető különbség, hogy a toplai esetben szinte tiszta karbonátos (dolomit) kőzetről beszélhetünk, és az ércesedés meghatározó diagenetikus fázist is mutat, míg Rudabányán agyagmárgához kötődik az ércesedés és a diagenetikus hatás hiányzik, továbbá későbbi ásványosodás (Fe, Cu, pátszegélyi Pb-Zn) és tektonikai mozgások felülbélyegezték a szingenetikus kialakult cink-ólm telepeket.

Dolgozatunk célja, hogy a mežicai ércesedés jellemzőit összevessük a rudabányai ismeretanyaggal, a tanulmányút során, illetve Rudabányán begyűjtött mintákon elvégzett modern anyagvizsgálati eredményeket bemutassuk, így a különbségekre és hasonlóságokra rávilágítva bővítsük a rudabányai ércesedésre vonatkozó teleptani ismereteket.

1. Bevezető

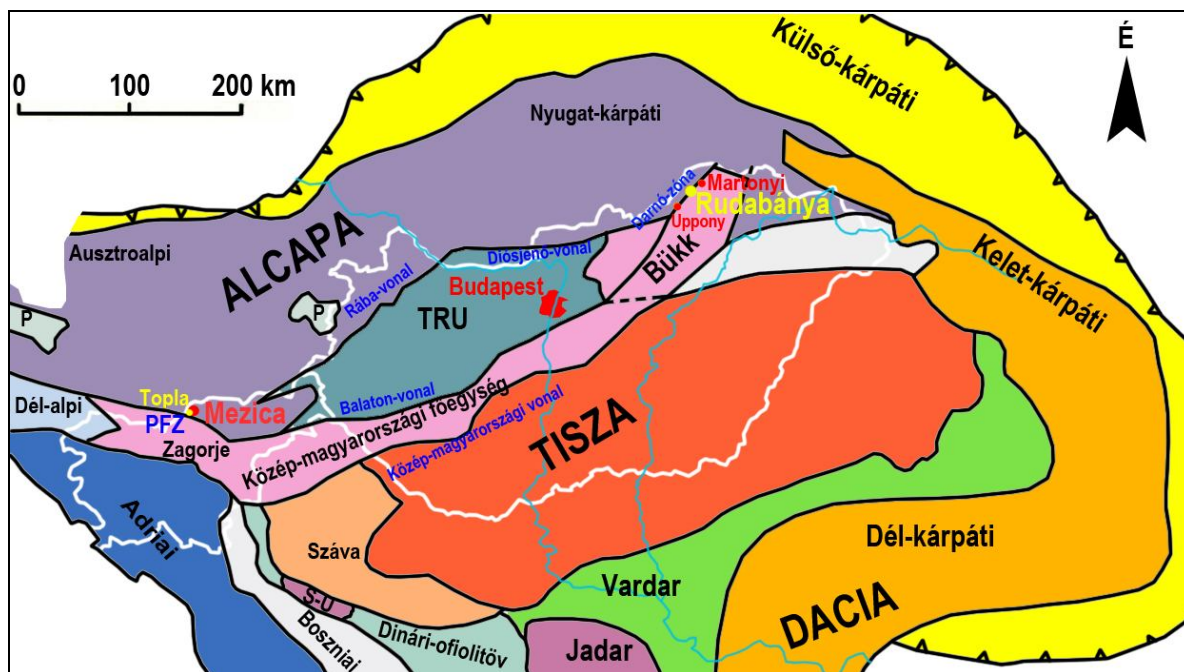
Rudabányán többretű érc kutatás folyik. Ezek eredményeként egy eddig nem ismert, üledékes ólom-cinkércesedéssel bővült az ott fellelhető ércesedési típusok családja. E legidősebbnek vélt ércesedés további kutatását megkönnyíti, ha ismerjük a rá vonatkozó jellegzetességeket, éppen ezért olyan analóg földtani modellt kerestünk az elérhető távolságon belüli lelőhelyek között, melyhez bőséges ismeretanyag és letisztult genetikai modell tartozik. Így akadunk rá a kelet-alpi régióban, a szlovén-osztrák határon lévő, nagy méretű, mészkő-dolomit befoglaló kőzetű Pb-Zn ércesedésekre, melyek teljesítik ezeket a feltételeket, sőt, genetikai rokonság is feltételezhető. E feltételezett kapcsolat alapja az alpi-kárpáti-dinári régió szerkezeti vázlatán jól illusztrálható (1. ábra), mert a mežicai és toplai érctelep a Periadriai-Lineaments, míg a rudabányai az ennek folytatásaként értelmezett és a Közép-magyarországi vetőzónához kapcsolható Darnó-zóna mentén, igen hasonló rétegsorban található.

Szlovénia legjelentősebb ólom és cinkércbányái közül a legnagyobb a mežicai volt, amely tekintélyes számú érctestből áll. A fő ércásványok a galenit és a szfalerit, a befoglaló kőzet ladini és alsó-karni mészkő és dolomit összletek. Két kilométerrel DNy-ra, a Peca-hegy anizuszi dolomitból felépülő déli lejtői alatt találjuk a toplai ércesedést, ahol a fő ércásványok szintén a galenit és a szfalerit. Rudabánya Pb-Zn ércesedései szintén triász korú karbonátos kőzetekben szfalerit, galenit valamint ezek oxidációjával létrejött ásványokban találhatóak meg.

Egy tanulmányút keretein belül volt szerencsénk meglátogatni a mežicai és toplai bányákat, ott mintákat gyűjteni, melyeket ásványtani és szövet-szerkezeti szempontból megvizsgáltunk. Ezek eredményei a jelen dolgozat témáját képezik, de csak részben. Emellett a dolgozatunk célja az, hogy összehasonlítást adjunk a rudabányai üledékes Pb-Zn ércesedés és a Mežicán, illetve Toplán található ércesedés között.

A dolgozatunk szempontjából érdekesebb toplai ércesedéssel foglalkozunk többet.

Ennek oka, hogy korban és genetikában ez esik legközelebb a Rudabányán található ólom-cinkércesedéshez.



1. ábra: A dolgozatban tárgyalt ércesedések elhelyezkedése az alpi-kárpáti-dinári régió nagyszerkezeti vázlatán. Rövidítések: PFZ: Periadriai lineamens, TRU: Dunántúli-középhegységi-egység, S-U: Sana-Una-egység, P: Pennini-egység (HAAS ET AL. 2001 alapján)

2. Rudabánya

2. 1. Földrajzi és földtani helyzete

Északkelet-Magyarország egyik legjelentősebb, az ősidők óta művelt érclelőhelye Rudabánya. Földrajzi fekvését tekintve a Szlovákiába átnyúló Gömör-Tornai Karszt DK-i részén elhelyezkedő Aggtelek-Rudabányai hegység déli peremén található; e vidéket délről a Sajó völgye és a Bükk-hegység, keletről a Bódva völgye és a Cserehát, DK-ról pedig a Szendrői-szigethegység határolja.

Földtani értelemben a Rudabányai-hegység a DDNy-ÉÉK csapású Darnó-zóna mentén helyezkedik el a Szilicei-takaró triász és a Szendrői-hegység kis fokon metamorfizált paleozóos kőzetei között. Az érctelepeket magába foglaló, a Szlicikumhoz tartozó rétegsor a Mésző-Alpok kőzeteivel állítható párhuzamba, és jelenlegi földrajzi helyére csak az

oligocén-miocén folyamán került, a Darnó-vetőzóna balos elmozdulásai során (SZENTPÉTERY, LESS, 2006). A Darnó-zóna feltehetően a Középmagyarországi-vetőzóna egyik mellékága, aminek DNy-i folytatását a Periadriai-vetőzóna képezi (FÜLÖP J, 1986). Ennek mentén, a rudabányaihoz hasonló rétegsorokban más, hasonló közettani jellegekkel bíró érctelepek is kialakultak (CZERNY 1989). Tanulmányutunk és dolgozatunk témája is egyben egy ilyen, sok tekintetben hasonló érctelep párhuzamba állítása a Rudabányai- ércesedéssel.

2. 2. Korábbi földtani ismeretek

A területről meglehetősen sok kutatási eredmény született, ezek közül csak a számunkra jelentősebbeket említjük nagyvonalakban. A részletes kutatástörténet megtalálható Pantó 1956-os munkájában.

A területre vonatkozó első jelentősebb adatokat SCHMIDT S. (1884) szolgáltatta a vasérctelep és gyakoribb ásványainak leírásával. KOCH A. 1904-ben megjelent munkájában ma is helytálló triász rétegtani tagolást és szerkezeti megállapításokat közölt. Feltételezte a Martonyival való rokonságot, leírta a hegység redős szerkezetét, valamint összefüggésbe hozta a kárpáti hegységképződéssel. 1924-ben Pálffy M. térképezte újra a területet. PÉCZELY A. (1935) leírta a baritos pátszegélyt és annak szulfidásványait. Koch S. a '30-as években ércmikroszkópi vizsgálatokkal együttes ásványtani megfigyeléseket végzett (KOCH 1985). A terület térképezésével SCHRÉTER Z. (1945), majd BALOGH K. (1952) foglalkozott. Pantó G. részletes ércteleptani leírásokat készített a területről (PANTÓ 1956, PANTÓ ET AL, 1957). Az 1956-os munkájában leírja, hogy a mélyebben fekvő részekben a vas, réz és ólom dúsulása intenzívebb, mint a felszínközeli, amit az ércképző folyamatok magasabb hőmérsékletének tulajdonít. Említi a galenitet homokkő-agyagpalában, valamint hematit mellett is. Hernyák és társai (1969) említik a cink jelenlétét a pátszegélyeken (max 2%-ot). A Zn nagy részét karbonátos megjelenésűnek gondolták (pl.: smithsonit), ellentétben a korábban vélt szulfidossal. Leírták a szfalerit kadmiummal való dúsulását.

A modern szerkezetfejlődési és tektonikai képet a területről LESS ÉS TÁRSAI (1988), SZENTPÉTERY ÉS LESS (2006) térképezéseinek köszönhetjük, a bánya ásványaival pedig SZAKÁLL S. (2001) foglalkozott részletesen.

2. 3. Bányászat- és kutatástörténet

Rudabánya területe már az őskőkor óta bányászat helyszíne, bár pontos kezdetére nincsenek közvetlen bizonyítékok. Az érctelep művelését a kezdetektől SZAKÁLL S. (2001) és PANTÓ G. (1957) munkájukban nagy részletességgel tárgyalják, itt csak a fontosabb eseményeket emeljük ki.

Az ércterület korai ismertsége a sok millió éves lepusztulási folyamatoknak köszönhető, így a réz- és vasérc oxidált zónája a felszínre bukkanhatott. Az ekkor használatba vett anyagok a réz, színes rézászványok (azurit, malachit) és a földfestékek lehettek (SZAKÁLL, 2001). A természetes a neolitikumban vált fontossá, még a bronzkorban a bányászat fellendült, kezdetleges eszközökkel már a mélyművelés is megindult. 1350-es évektől a város fejlődni kezdett, ekkor a környékre telepített német ajkú bányászok már az ezüstöt is kitermelték a szulfidokból és felszínközeli mállástermékeikből. A vasbányászat újbóli fellendülése gróf Andrassy Manó kezei alatt történt az 1880-as években. Az ekkor termelt, 25% vasat tartalmazó barnavasérc átlagosan 0,41 %-os réztartalmát károsnak minősítették (PANTÓ ÉS TÁRSAI, 1957). Majd a bánya sorsa követte az éppen aktuális gazdasági helyzetet. A modern mélyművelésű vasércbányászat az 1930-as évektől indult meg. Ekkorra már a felszín közeli jó minőségű oxidos ércet jórészt leművelték, a vágatokat egyre inkább a gyengébb, karbonátos vasércre hajtották. Az 1950-es években a vasérc össztermelését tekintve (mélyszín és külszín együtt) a 650 000 t-t érte el, melléktermékként mangán- és rézércet, valamint baritot is termeltek (SZAKÁLL, 2001). A vasérc bányászatát 1985 decemberében szüntették meg, ezt megelőzően már 1976-tól az Országos Érc és Ásványbányák tervei alapján mintegy 120 színesfém-ércre irányuló fúrást végeztek, biztató eredményekkel. Az adatokat térképes dokumentációban rögzítették, melyek napjaink kutatásainak alapját képezik (FÖLDESSY ET AL, 2010b).

A MÁFI bányabezárást megelőző fűrőmag és részmintákon végzett elemzéseiből kiderül, hogy a karbonátokban és sziliciklasztos kőzetekben is komoly Ag, Cu, Mn, Pb, és Zn dúsulásokat találtak (CSALAGOVITS, 1973), a bezárást követően 558,4 kt ólom- és 1546 kt rézérc-készletet tartottak nyilván (FODOR, 2003). A MÁFI és USGS kiterjesztett geokémiai vizsgálatait során a terület üledékes kőzetekhez kötött Carlin-típusú arany ércesedés kutatására érdemesnek tartotta, ennek jelenléte viszont még nem vált bizonyítottá.

Ezekből a kutatási eredményekből és a karbonátos-márgás, reduktív anyakőzetéből

kiindulva feltételezhető egy Mississippi Valley típusú (MVT) ércesedés megléte. Egy kanadai vállalat lehetőséget látott a területben, és 1994-95-ben potenciális nyersanyagok újabb kutatásába kezdett. Ennek során a külfejtések területén végeztek felszíni mintázásokat. Eredményeik figyelemre méltó Pb, Zn, Cu, Ag dúsulásokat jeleztek, mely szerint a réz legmagasabb koncentrációját az agyagmárgában érte el, itt 0,92% volt az átlagérték. A barnavasércben volt a legalacsonyabb: 0,43%. Az ezüst főként a szideritben dúsult, (27,5 g/t) míg a limonitban csak 10,6 g/t-t mutattak ki. Az újabb kutatások rávilágítottak arra, hogy a Pb és a korábban dúsult fémként számba nem vett Zn az eddig meddőnek tekintett, finomszemcsés kőzetben, szabad szemmel nem látható szulfidásványokban koncentrálódik, így az eddigi kutatások folyamán észrevétlen maradhatott (FÖLDESSY ET AL., 2010B). 2007-től napjainkig a Rotaqua Kft együttműködve a Miskolci Egyetemmel kutatja a területet, folyamatosan bővítve az ismeretanyagot, melynek során mintát vettek a környék kőzeteiből, feltárások és árkolások segítségével. Ezek, valamint fúrások és megfigyelések alapján új földtani modellt alkottak. Számos vizsgálatot végeztek az előtérbe került színesfém-ércek kimutatására. Bebizonyosodott, hogy a cink a legáltalánosabban dúsult színesfém, és dúsulási területe az ólommal együtt a mai bányagödröktől ÉK-i irányban is folytatódik (NÉMETH ET AL., 2013).

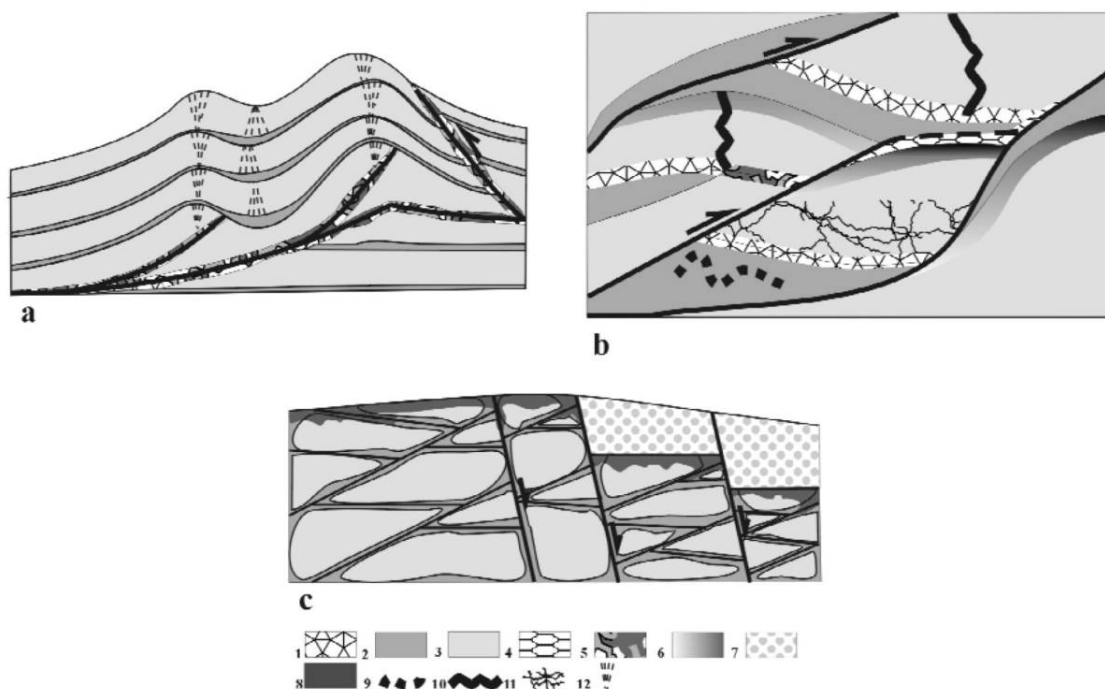
2. 4. Kőzettani felépítés, rövid fejlődéstörténet

Kőzettani felépítését tekintve a hegység nagy részét triász korú kőzetek alkotják, amelyek az Aggteleki-hegység rétegsorába sorolhatóak. (SZENTPÉTERY ÉS LESS 2006). A dolgozatunk tárgyát képező ólom-cinkércesedések jellemzően az alsó- és középső triász kőzetekben jelennek meg, így a többi formációt itt nem tárgyaljuk (1. melléklet). A hegység részletes földtanáról SZENTPÉTERY ÉS LESS (2006) munkájában olvashatunk.

A térség legidősebb, permbe sorolt rétegtani egysége a Perkupai Evaporit Formáció, és PANTÓ (1956) leírása alapján a valószínűleg szintén a permbe sorolható a sötét mészkő és agyagpala, ami az altáróban jelentkezett. Erre települt a lilás-vörös „szeizi” homokkő és aleurolit (Bódvaszilasi Homokkő Formáció). Az ennél fiatalabb, szürke, agyagkőből, márgából, lemezes mészkőből felépülő „kampili agyagmárga” (PANTÓ, 1956) megfelelője a mai Színi Márga Formáció (FÖLDESSY ET AL., 2010b). Felépítésében a vegyi és törmelékes üledékképződési szakaszok váltakoznak, ennek megfelelően aleurolit-márga, agyag és

karbonátos betelepülésekből áll (SZENTPÉTERY ÉS LESS 2006, PANTÓ 1956). helyenként nagy mennyiségű vasfelhalmozódással (PANTÓ 1956). Erre már uralkodóan karbonátos üledék települ a Színpetri Mészke és a Gutensteini Dolomit Formációkban (FÖLDESSY ET AL, 2010b). Mindkettő reduktív környezetben képződött, a mészke lemezes, néhol mészmárgás, pirites, magas Fe-tartalommal. A dolomit vastag pados, euxin lagúnafejesű, gyakran sávzott megjelenésű (SZENTPÉTERY ÉS LESS 2006). A felsorolt kőzetekre az ércesedésekkel érintett területen általánosan jellemző a nagyfokú breccsásodás és a kaotikus, egymásba gyúrt szerkezet (PANTÓ 1956).

A terület fejlődéstörténetéről alkotott kép a folyamatosan bővülő ismeretanyagnak köszönhetően még teljesebbé vált. Ennek megfelelően Földessy és társai (2010b) három fő deformációs fázist különítettek el, melyet a 2. ábra is szemléltet:



2. ábra: A Rudabányai ércesedés szerkezetalakulása: (a)- ércesedést vezető deformációs szakasz, (b)-második (ércesedést széttagoló) deformációs szakasz, (c)- harmadik, oxidáció utáni deformációs szakasz (FÖLDESSY ET AL. 2010b alapján)

Jelmagy.: 1-breccsásodás agyagmárga és karbonátos kőzettestek határán, 2-agyagmárga, 3-karbonátos kőzet, 4-breccsás pátszegély, 5-breccsásodás karbonátos kőzetek határán, 6-baritos pátszegély, 7-pannon üledék, 8-limonit, 9-redőzött és budinált gumókra széttagolt

*sztratiform Pb-Zn érclencse, 10-telér, 11-hintett rézércesedés pátvasércben, 12-közetrésrajok
a redőforgókban*

1: Az elsődleges szerkezeti elemek valószínűleg a Kárpáti hegységképződés Ausztriai fázisában alakultak ki. Ezek hozták létre az eredeti pikkelyes szerkezetet É-D-i csapásiránnyal, meredek dőléssel. Ezt a deformációs fázist feltételezhetően párhuzamba lehet vonni a Szilicei takaró áttolódásával, ami mai helyzetét a Darnó-zóna működése során történt elfordulással nyerte el. A mozgások hatására létrejött közetrésrajok későbbi telérek vagy vetők helyeit jelölhetnék ki. Az ekkor kialakult szerkezet utat nyitott a hintetten és teléresen megjelenő, főként piritből álló masszív szulfid-erek számára.

2. Feltételezhetően a Darnó-zóna kora-miocénben történt elmozdulásainak eredményeként az előző vetőzónákat DK-ÉNy-i dőlésű, egymást keresztező feltolódások bélyegezték felül. Ezek egy oldaleltolódások soraiból álló pozitív virágszerkezeten belül alakultak ki. Az első szakaszban létrejött ércelének ezen mozgások hatására összetöredeztek, felmorzsolódtak, szétszóródtak. Az elemek remobilizációjával a karbonát-márga határon kialakult a „baritos pátszegély” Pb, Zn, Cu, Ag ércesedéssel. A galenit és fakóérc a szegélyzónákra korlátozódnak, míg az ezzel egy időben, az összetöredezett, de nem metasomatizálódott dolomitbreccsa kötőanyagában pirit, kalkopirit, bornit alakult ki.

Ezt a szakaszt valószínűleg egy epitermás ásványképződés követte, As, Sb, Hg, Ag (fakóércben) dúsulásokat létrehozva főleg az érctelep DNy-i szegélyén (SZAKÁLL 2001), a részben már oxidálódott vasércben. Az oxidációs öv kialakulása még a pliocén előtt mehetett végbe (FÖLDESSY ET AL., 2010b).

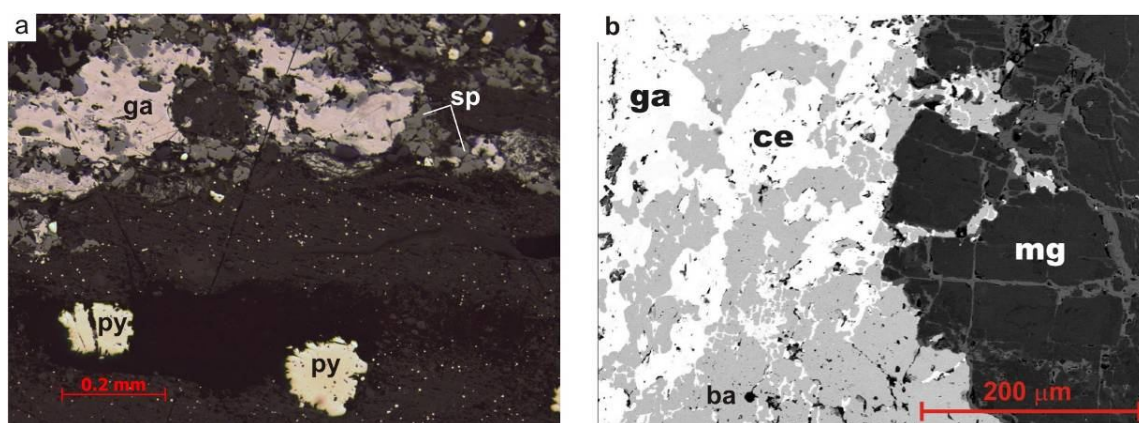
3. Az összetöredezett érctest a pannon rétegsort is érintő újabb vetők mentén kiemelkedett, másutt lesüllyedt. A felszín közelébe került közettömeg oxidációja és elemvándorlása révén másodlagos elemdúsulások jöttek létre, amik sokáig a bányászat fő célpontját jelentették. A galenit az oxidációs övben cerusszittá és anglezitté alakul (PANTÓ, 1956).

Mivel az euxin, pélites, karbonátos üledékekhez kötődő, rétegszerűen megjelenő Pb-Zn ércesedés az összes, eddig megfigyelt deformáció nyomait magán hordozza, így feltételezhető, egy üledékképződéssel egyidejűleg keletkezett ércesedés (FÖLDESSY ET AL. 2010b). Az ércesedéshez szükséges nagy mennyiségű kén eredetüül az ércesedett rétegsor alatti Perkupai

Evaporit Formáció szolgálhatott. A szeizi homokkőben viszont nincs meg ez az ércesedés, habár a metasztatikus hatás ezt a réteget is érintette, mintegy újabb bizonyítékaul szolgálva a szinszediment jellegnek (NÉMETH ET AL. 2013).

2. 5. Rudabányai sztratifom, ólom-cinkércesedés

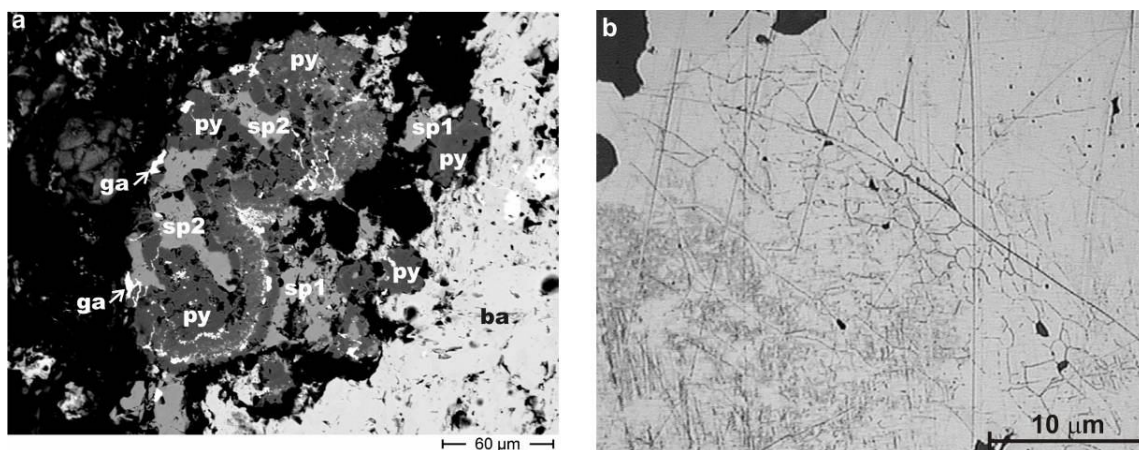
A sztratifom Pb-Zn-szulfidos ércesedés jellemző kísérőásványai a kvarc (10-100 μm), csillámok (illit és muszkovit 10 μm -es lemezei), barit valamint a dolomit. Ércásványai közül legnagyobb mennyiségben a pirit jelenik meg framboidális és kollomorf szöveti jellegeket mutatva (50-200 μm), ezen kívül szfalerit és galenit, melyek gyakran a barittal rétegződve találhatók (3. ábra). A szulfidok kiválási sorában az első ércesedési fázisban egy piritkiválás alakult ki, ezt követte a szfaleritesedés és galenitesedés (5. ábra). Mindezeket egy másodlagos piritkiválás bélyegzi felül, amely repedéskitöltőként van jelen (NÉMETH et al. 2013).



3. ábra: Reflexiós mikroszkópi kép (a) és BSE felvétel (b) a rudabányai sztratifom Pb-Zn ércesedésről. ga-galenit, sp-szfalerit, py-pirit, mg-magnezit, ce-cerusszit, ba-barit (NÉMETH et al. 2013)

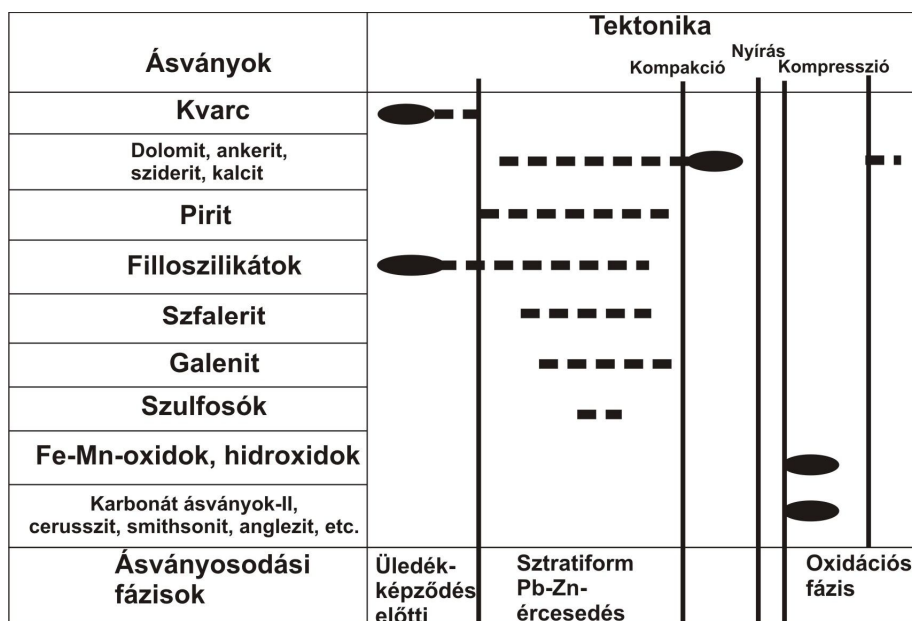
A baritos pátszegély karbonátjaira a zónásság és finomszemcsés (<150 μm) barit a jellemző. Az ércásványok közül a galenitek finomszemcsésék, megjelenésüket tekintve (10 μm), nem orientált, idiomorf, gyakran zónásságot mutatók (4/a. ábra). A metszeti képen a dinamikus átkristályosodás eredményeként kialakult mozaikos szövet, salétromsavas étetés után jól megfigyelhető (4/b. ábra). Benne zárványként ólom-antimon tartalmú szulfosók (főként a jamesonit-boulangerit sorozat tagjai) töredezett, deformálódott, tűs-sugaras szemcséi gyakran megjelennek. Az első galenit kiváláshoz képest az ezüsttartalom is magasabb. SZAKÁLL (2001) akantitot zárvány formájában is megfigyelt.

A szfaleritszemcsék méretüket tekintve hasonlóak a galenithez, a zónásság és ikresedés itt is megfigyelhető, átkristályosodást nem mutatnak. Összetételükben az előző fázistól eltérően megjelenik a Fe (2-5%) és Cd (SZAKÁLL 2001). Szöveti maradványként sztratiform ércképződés bélyegeit mutató bakteriopiriteket sikerült megfigyelni (4/a. ábra). Mindkét típusú ásványkiválásban általánosan jellemző a galenit deformáltsága.



4. ábra: a: BSE felvétel a rudabányai Pb-Zn ércesedés egyik mintájáról (sp-szfalerit, ga-galenit, py-pirit, ba-barit), jól látható a pirit framboidális szerkezete (NÉMETH et al. 2013) b: rudabányai Pb-Zn ércesedés masszív galenites részéről készült reflexiós mikroszkópi felvétel. Salétromsav és etilalkohol keverékével való étetés után kirajzolódnak a plasztikus deformációt szenvedett galenit kristályok szöveti képe (KUPI 2011).

A leírt jegyekből, a pirit szöveti megjelenéséből, valamint a későbbi ércesedésben megtalálható szövetmaradványból lehet következtetni a befogadó karbonátos üledékképződéssel egyidejű ércesedésre. A sztratiform jelleg bizonyítása, a kőzetek későbbi, erős igénybevételéből következő lenyíródások, töredezettség miatt nem egyértelmű (NÉMETH ET AL. 2013).



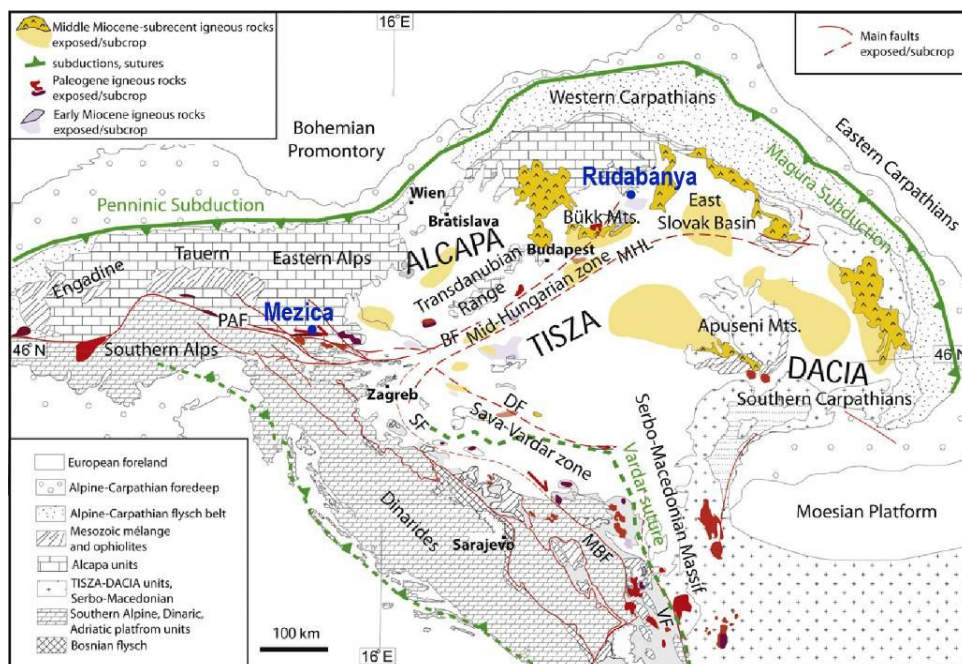
5. ábra: A rudabányai sztratiform Pb-Zn ércesedés paragenetikai modellje (KUPI, 2011 alapján)

3. Mežicai és Topla

3. 1. Mežica földrajzi és földtani elhelyezkedése

Szlovénia legnagyobb ólom-cink ércesedése a Karavankák keleti peremén fekszik, kb. 55 km-re Ljubjanától északkeleti irányban. Az ércetek megközelítőleg 64 km² hegyvidéki területre terjednek ki.

A mežicai ércelőfordulások a Keleti-Alpok legmagasabb szerkezeti egységében, az Északi-Karavankák geotektonikai egységben, a Wetterstein Formáció ladin – kora-karni platform képződésű karbonátos kőzeteiben helyezkednek el. Az Északi-Karavankák uralkodó szerkezeti elemei a vetők és áttolódások, amelyek az előfordulástól D-re található Periadriai-vetőzóna (Periadriatic Fault Zone, PFZ) menti elmozduláshoz kötődik, amely az Alpok kiemelkedően fontos strukturális eleme. Fejlődése hozzávetőlegesen 35 millió évvel ezelőtt (az eocén végén) kezdődött és máig több, mint 250 km-es jobbos elvetés alakult ki e zóna mentén (FODOR et al. 1998). A PFZ mentén több takarós és divergens virágszerkezet alakult ki. A déli és északi beékelődő takarók a Paleo-Thetys és a Thetys óceán ordóvíciumi – alsó-kréta, főképp platform fáciesű, karbonátos üledékeiből épülnek fel. (POLTNIG & HERLEC 2011). Mežica és Rudabánya elhelyezkedése, a térség nagyszerkezeti vázlata a **6. ábrán** látható.



6. ábra: A kárpát-pannóniai régió fő tektonikai egységei és vázlatos kőzettani felépítése (JANIK *et al.* 2011 alapján). A legfontosabb vetők/szerkezeti vonalak rövidítései: BF – Balaton-vonal; DF – Dráva-vonal; MBF – Fő-balkán vető; MHL – Közép-magyarországi-vonal; PAF – Periadriai linemans; SF – Száva-vonal; VF – Vardar vető.

3. 2. Bányászattörténet

Karintiában a bányászat kezdetéig egészen a római időkre vagy talán még korábbra kell visszatekintenünk, amikor az ércetek limonitos „vaskalapját” (oxidációs zóna) termelték magas minőségű kovácsolt kardok készítéséhez, amelynek anyaga a „nóri acél” néven vált legendássá. A középkorban is folyt termelés, de a Meza-völgy bányászata akkor éli virágkorát, amikor Ausztria elvesztette a legnagyobb ólomércbányáit a 18. században: Raibl és Bleiberget. Ebben az időben alakultak meg az első bányavállalatok és a mežicai ólom nagy piacot szerzett Ausztriában. 1866-ban létrejött a Bleiberger Bergwerks Unio-t (BBU), amely egyesítette a bányászati vállalatokat Raibl, Bleiberg és Mežica környékéről. Az első és második világháború idejében éles visszaesés volt tapasztalható a termelésben. 1950 és 1965 között a bánya elérte a termelésének csúcspontját, ami 500000 tonna érc/évet jelentett. A fémek világpiaci árának átmeneti csökkenése és egyéb tényezők miatt a 80-as évek vége felé elérte mélypontját a bánya. 1994-ben felszínre kerültek az utolsó ércek, majd fokozatos leépítés és bezárás következett 2004-ben. A geológiai felmérések a maradt mežicai készletet 6

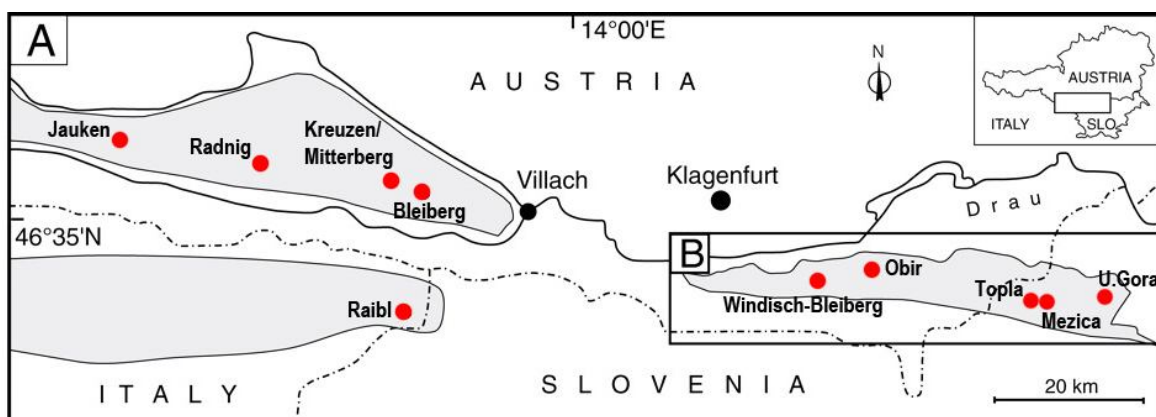
millió tonna körüli értékre becsülték.

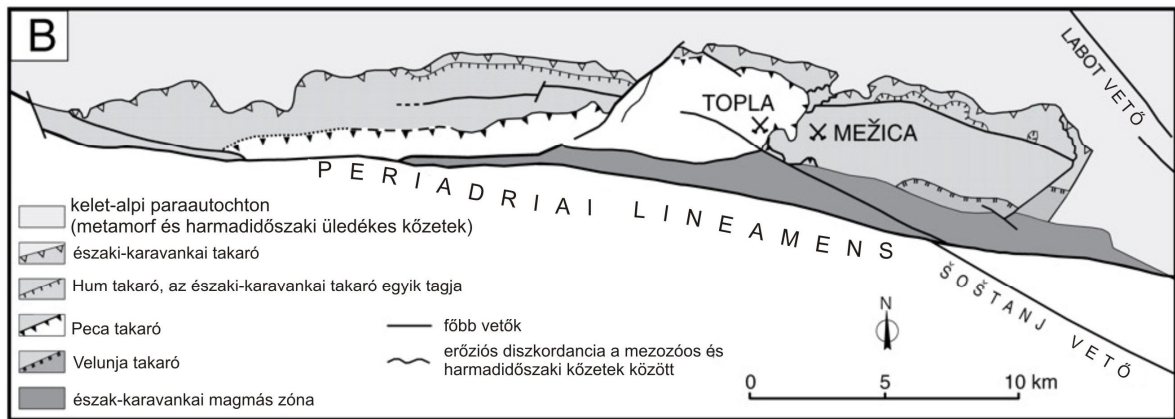
Napjainkban 417 méteres szint felett a bánya vágatai, telepei még hozzáférhetőek. A műszaki és természeti örökség 350 éves történelmét öleli fel a az 1997-ben létesült „a Peca Föld Alatti Világa” bányamúzeum (RECNIK 2010). A létesítmény dolgozói változatos programokkal, ásványgyűjtéssel, földalatti kirándulásokkal, idegenvezetéssel szolgálnak az érdeklődők számára. Így nyílt lehetőségünk egyes érctelepek megtekintésére és a mintavételre.

3. 3. Az ércesedés geológiai viszonyai, kialakulása, típusai

Az Északi-Karavankák geotektonikai egység középső-triász karbonát platform kőzetei nagyszámú alacsony hőmérsékletű (epitermális) ólom-cink ércesedést hordoznak, az egészen kisméretű, gazdaságtalan előfordulásoktól az egészen nagyméretű MVT (Mississippi Valley Type) telepekig, úgy mint Bleiberg Ausztriában, Mežica Szlovéniában, vagy Raibl Olaszországban (SPANGENBERG & HERLEC 2006). Nyugaton a Raibl és Bleiberg Pb-Zn előfordulás és a keleti mežicai ércesedés ugyanazon rétegsorban találhatóak. Ezek az ércmezők összesen több, mint 50 millió tonna ércet szolgáltatottak, amely Európa legnagyobb ólom-cink előfordulásává tette a területet. A térség fontos telepeinek elhelyezkedését a 7/A. ábra mutatja.

A dolgozat szempontjából a Mežica és Topla ércelőfordulások fontosak, így a továbbiakban ezekkel foglalkozunk részletesebben. A 7/B. ábrán látható, hogy térben közel vannak egymáshoz, ennek ellenére azonban két különböző rétegtani szinthez kötődő, teleptani tulajdonságaikat tekintve eltérő érctelepekről van szó.

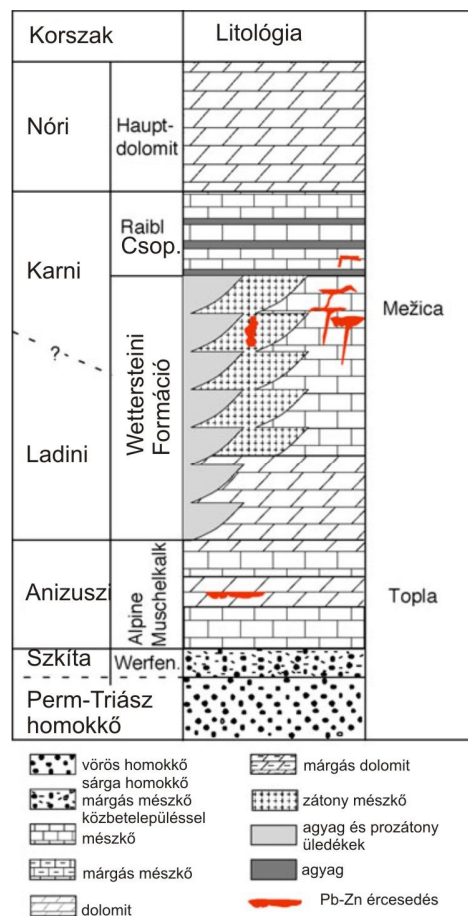




7/A ábra: a legfontosabb alacsony hőmérsékletű karbonátban képződött (MVT) Pb-Zn ércesedések az Északi-Karavankák geotektonikai egységben, valamint a Keleti- és Déli-Alpokban (HERLEC et al. 2010)

7/B ábra: Topla és Mežica környékének szerkezeti képe (SPANGENBERG & HERLEC. 2006)

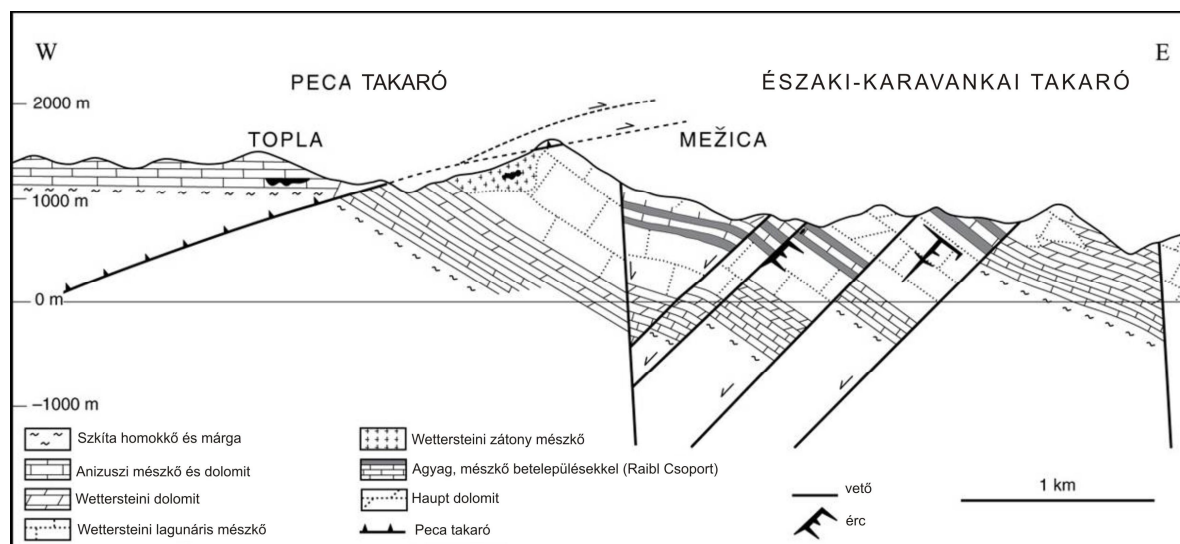
Az ércetestek legnagyobb része a triász karbonátos kőzetekhez kötődik, legtöbbjük a ladini emeletbe tartozóakhoz. A ladini rétegek alsó részét uralkodóan dolomit és márga (agyagos mészkő) képezi, amelyet a wettersteini dolomit és mészkő fed. Kevésbé jelentős ércesedések a fiatalabb karni, nóri és rhaeti rétegekben is fellelhetők (8. ábra).



8. ábra: elvi rétegoszlop Mežica és Topla előfordulások területén (ŠTRUCL 1974; CERNY 1989; és PLACER et al. 2002 munkái alapján)

A mežicai telepek nagy része szubvertikális vetők mentén található (diszkordáns telepek), de paleo és recens karsztos jelenségeket is hordoznak a felső Meza-völgy wettersteini mészkövei. Ezen körülmények lehetővé tették a réteggövető (konkordáns) és a szokatlan „csőszerű” ércetek képződését is, amelyek a tiszta, fehér, nem metamorfizált, lagúna és zátony fáciesű mészkő karsztos üregeinek kitöltései. Néhány kutató szinszediment jellegű képződést feltételez, ahol a szulfidos érc lagúna környezetben, az üledékekkel együtt rakódott le. Az érc elsődleges hidrotermális ércesedésből származhatott (ZORC, 1955). Később hasonló modellt fogadtak el másik két Pb-Zn ércesedésre (Raibl és Bleiberg). Az üledékes kőzetek rétegződéséhez viszonyítva az ércetek megtalálhatóak akár diszkordáns, akár konkordáns helyzetben, de a diszkordáns ércetek az uralkodóak (9. ábra). Mivel az ásványos összetétel mindkét típus esetében hasonló, sokáig azt gondolták, hogy azonos folyamat hozta létre őket

(DROEVNIK, 1980).



9. ábra: kelet-nyugat irányú földtani szelvény a Mežica és Topla ércmezőkön. Jól láthatóak a konkordáns és diszkordáns telepek. (SPANGENBERG & HERLEC 2006)

A közelmúltban végzett összetett geokémiai vizsgálatok meggyőző eredményekkel szolgáltak abban a tekintetben, hogy Topla és Mežica érctelepei tipikusan alacsony hőmérsékletű sós vízből képződtek, de két különböző ércképző folyamat során. A koradiagenetikus Topla előfordulás az anizuszi emeletben képződött anoxikus, szupratidális szalin-hiperszalin körülmények között, a sötét, bitumenes, euxin fáciesű dolomit szövetébe épülve, gyakran egyes rétegekhez kötve, sávosan. Az ércásványok képződése a beérkező hidrotermális fémekben gazdag fluidum és a bakteriális H_2S dús pórusvizek keveredésének következménye (SPANGENBERG & HERLEC 2006). A teleptani bélyegek arra utalnak, hogy a szulfidásványok részben az üledékképződéssel egyidejűleg, részben pedig a diagenézis során képződtek.

Az epigenetikus eredetű mežicai ércesedés a pliensbach-i riftesedés kezdeti fázisának epigenetikus folyamatai során keletkezett. A konkordáns ércetek kiválása forró (122-159 °C) és sós (22-26 t% NaCl) fém tartalmú oldatokból történt a mély betemetődési diagenézis során. A diszkordáns telepek eredete és pontos ideje sokáig tisztázatlan volt, de az ércesedések legfőképpen a triász és az első ércesedési fázis utáni vetőket töltik ki, azt sugallva, hogy egy későbbi hidrotermális esemény során a már létező konkordáns ércásványok újramobilizálásából keletkeztek (DROEVNIK 1983).

A diszkordáns ércetek szubvertikális és szabálytalan metasomatikus kitöltéseket is formálnak (ŠTRUCL, 1984). Jellemzően breccsások, a szabálytalan, milonitos töredékeket ércásványok és kalcitos cement veszi körül. Az érc és az anyakőzet határfelülete életlen, fokozatosan haladt előre a szfalerit beszivárgás, amely a viszonylag alacsony kristályosodási hőmérsékletre utal. A hidegebb, freatikus vizek és az anyakőzet találkozásánál az ércgazdag fluidumok gyorsan lehűltek és finomszemcsés formában kristályosodtak ki, de az ércetek középső részeiben, ahol a hűlés sebessége lassabb, a szemcseméret arányosan nagyobb. A legnagyobb galenit kristály az ércetek ezen részén elérte az 5 cm-t. A bányászat számára ezek a diszkordáns és breccsás ércesedések voltak a legfontosabbak. A legfrissebb tanulmányok azt mutatják, hogy az ólom-cink érc nem csak a Wetterstein Formációhoz kötődik, hanem kiterjed a felső-triász és alsó-jura rétegekre is (KUHLEMANN et al. 2001), utalva az epigenetikus eredetre (SPANGENBERG & HERLEC 2006).

A meglévő szerkezeti és geokémiai ismeretek alapján a mežicai ércesedés a karbonátos kőzetek által hordozott, alacsony hőmérsékletű szolvotermális ólom-cink előfordulás, a tektonikai háttér pedig arra enged következtetni, hogy a Preadriai-lineamens fejlődése hozta létre. Az ércetek térbeli eloszlása erős összefüggést mutat az Alpi és Dinári vetőrendszerekkel.

A fő ércásványok a Mežicai bányában galenit és szfalerit. Az itt található galenit a többi klasszikus hidrotermális eredetű érctelepekhez képest viszonylag tiszta. Mindemellett kis mennyiségben As, Cu, Sb és nyomokban Ag, Bi és Tl tartalmat is meghatároztak galenitben és Fe, Cu, As, Cd, Ag, Ga, Ge, Hg, Bi, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb és Tl tartalmat mutattak ki a szfaleritben. Az ércesedés hírnevét a viszonylag ritka wulfenit ásvány számos formában való megjelenésének köszönheti, ami a paragenézis végének egyik jellemző képviselője. A molibdén az ólom-cink ércből vagy az anyakőzetből származhat (RECNIK, 2010). A molibdén forrásaként a Wetterstein Formációra települt karni és rhaeti agyagpalákat, illetve márgát tekintették (ZORC 1955), habár manapság az a nézet terjed, hogy szfalerit, esetleg galenit oldódásából ered.

A toplai előfordulás ércásványai leginkább a galenit és szfalerit (RECNIK, 2010). A mežicaival szemben itt három ércetst található (Nyugati-, Keleti- és Öreg bányarészek). Ezek 200(-250) x 20(-100) x 2(-7) méter kiterjedésű, elnyújtott alakúak, melyek árokkitöltéshez hasonlítanak. Kontaktusuk az anyakőzettel a talpokon eróziós felület, míg felül konkordáns.

Ércetesteket későbbi szerkezeti mozgások vetőkkel tagolták (DROEVNIK ÉS PUNGARTNIK, 1987).

A toplai bányászat a 19. század elején kezdődött és véget is ért pár évtizeddel később. A bánya újra üzemelt 1974 és 1988 között (DROEVNIK ET AL, 1988). Az utóbbi periódusban összesen 250 000 tonna ércet termeltek ki 10%-os cink- és 3,3%-os ólomtartalom mellett. Ez mintegy eltörpül a mežicai ércesedés méretei mellett, ahol a kitermelt és a még ki nem termelt ércmennyiség 19 millió tonnára tehető, 2,7 % cink- és 5,3 % ólomtartalom mellett (URL¹).

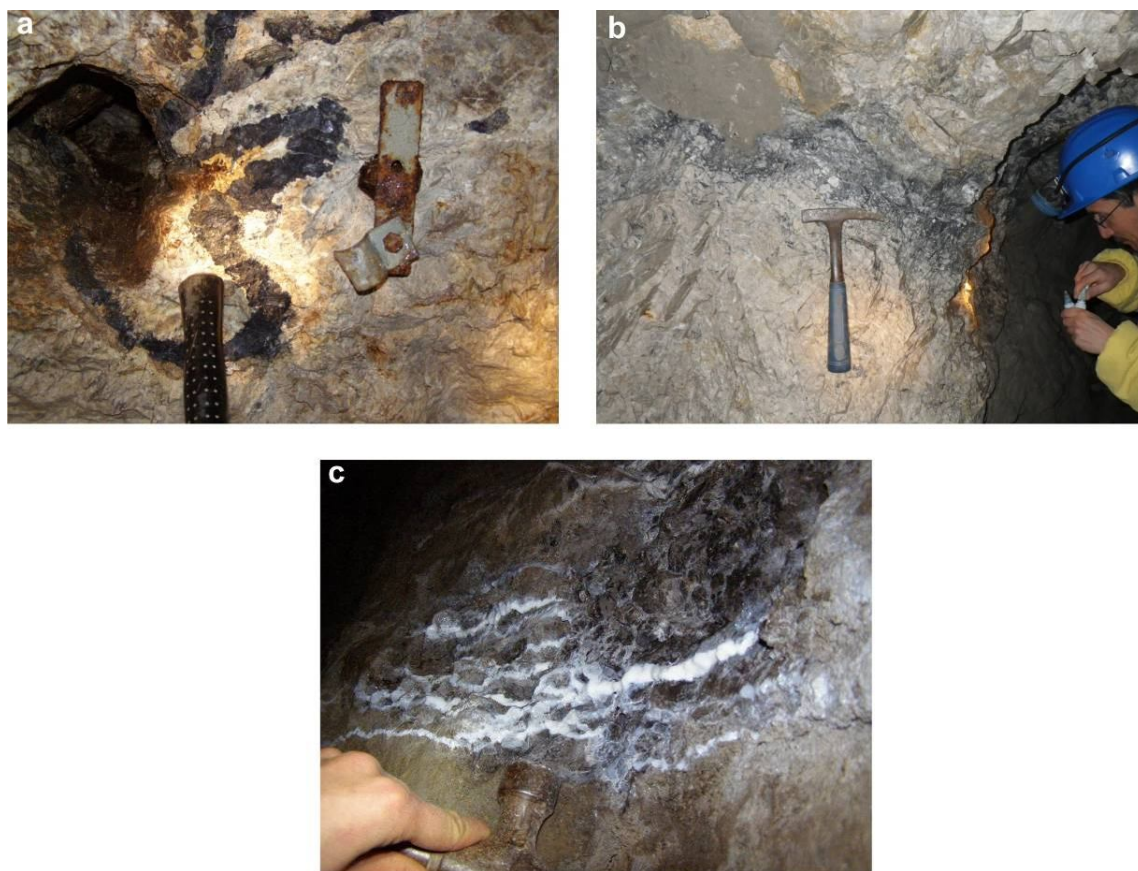
3. 4. Mežica és Topla lelőhelyekről származó minták petrológiai vizsgálata

3. 4. 1. Az ércetek leírása, makroszkopikus leírás

A tanulmányutunk során helyi geológusok vezetésével bejártuk a Mežicán és Toplán működött bányák fő részeit, összesen öt mintát gyűjtöttünk. Ez természetesen megkérdőjelezi vizsgálataink kiterjeszthetőségét, azonban az ércesedés viszonylag homogén jellegű (SPANGENBERG & HERLEC, 2006) és a jellegzetességeit sikerült megfigyelnünk a gyűjtött mintákon keresztül, így dolgozatunk céljához elégségesnek bizonyult ilyen kevés mintaszám is.

A mežicai Moreing bányarészből egyet (mintaszám: Moreing-1), míg a Dorotea bányarészből kettő mintát gyűjtöttünk (mintaszámok: Dorotea-1, Dorotea-2). Az érc általában üregkitöltő pozícióban van. Emellett gyakori még az ércek mészkőbreccsát cementáló formája, ritkábban réteges megjelenése (10/a-b. ábra).

Topláról két mintát gyűjtöttünk. Topla-5/1 jelű minta az Öreg bányarész 1144 m-es szintről a vágatból származik, míg a Topla-5/2 jelű szintén az Öreg bányarészből, ám pár méterrel feljebb és a külszínről. Az ércetest felső része galenitben igen gazdag volt, ám ezt - pont emiatt – már a 19. század elején lebányászták. Nyomait a biztonsági pillérek őrzik, azonban ezek közül is sok összeomlott. Az érc réteges szerkezetű, azonban a meddő mellékkőzethez közeledve ez a szerkezet eltűnik és az átmenet terepen szinte felismerhetetlen. A mintavételi helyeken az ércesedést magába foglaló közet szürke, sötétszürke színű finoman rétegzett dolomit. A sötét szín a magas szervesanyag-tartalomra utal. Igen gyakran megfigyelhető breccsásodott dolomit. A vágatban gyűjtött minta környezetében hidrocinkit bevonatok gyakoriak másodlagos, recens kiválásként (10/c. ábra).



10. ábra: a: Tömeges galenit üregkitöltésként, Mežica, Dorotea (fotó: Berentés Ágnes); b: mészkőbreccsák cementanyagaként megjelenő galenites érc, Mežica, Moreing (fotó: Kasó Attila); c: bányavárat falán megjelenő hidroczinkit bevonat, Topla, Öreg bányarész (fotó: Berentés Ágnes)

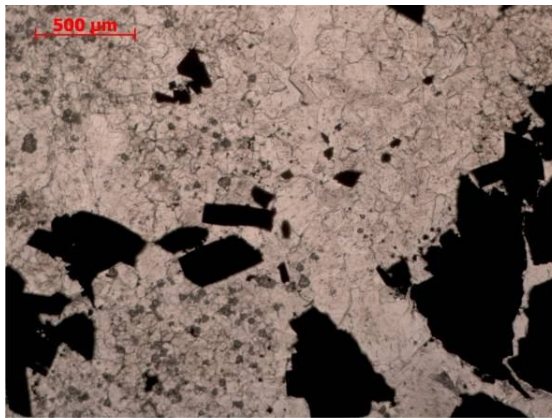
3. 5. Mikroszkópos és SEM megfigyelések:

A gyűjtött mintákból felületi- és vékonycsiszolatot egyaránt készítettünk a mikroszkópos megfigyelések elvégzéséhez. A vizsgálatokat Zeiss Imager A2.m típus mikroszkóppal végeztük, fényképezéshez AxioCam CCD kamerát használtunk. A szövetszerkezeti és kristálykémiai tulajdonságokat pásztázó elektronmikroszkópos (SEM, Jeol JXA-8600 Superprobe, 15 kV gyorsító feszültség, 18 nA erősségű mintaáram) és energiadiszperzív (EDS, Tractor Northern) spektrométeres eljárásokkal vizsgáltuk, polírozott felületű, szánnal gőzölt mintákon.

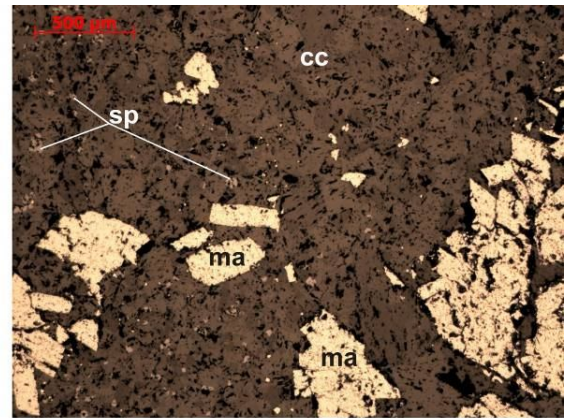
3. 5. 1. Mežicai telepekből gyűjtött minták

Az ércesedést befogadó kőzetet alkotó ásványok:

Kalcit/ Dolomit. A vizsgált mintákba szinte kivétel nélkül ezek az uralkodó kőzetalkotók (11. ábra). Paragenezisükkel nem foglalkoztunk részletesebben, azonban megfigyeléseink alátámasztották, hogy a diagenézis során több generáció jött létre (SPANGENBER & HERLEC, 2006).



Áteső fény, 1N



Reflexiós kép, 1N

11. ábra. Kalcitos (cc) alapanyagban markazit(ma) és szfalerit(sp) ásványok, Mežica, Dorotea

Járáulékos/ másodlagos ásványok:

Agyagásványok, kvarc. Minimális mennyiségben vannak jelen a megfigyelt mintákban. A néhány mikrométeres, xenomorf kvarc szemcsék és hasonló méretű, lemezes, csomós agyagásványok az üledékképződés során kerültek a konszolidálatlan üledékbe.

Wulfenit. E másodlagosan kivált, ólom-molibdén-oxid ásvány a mežicai ércesedést világhírűvé tette. A Dorotea bányarészből gyűjtött, üregkitöltő galenites minta (Dorotea-2) szegélyén jól megfigyelhető, pár milliméteres halmazokban. Behatóbban nem vizsgáltuk.

Cerusszit. A tömeges galenit előfordulások szegélyén, érkitöltésként jelenlévő másodlagosan kialakult ásványfázis (12. ábra, 3 – 4. melléklet).

Opak ásványok:

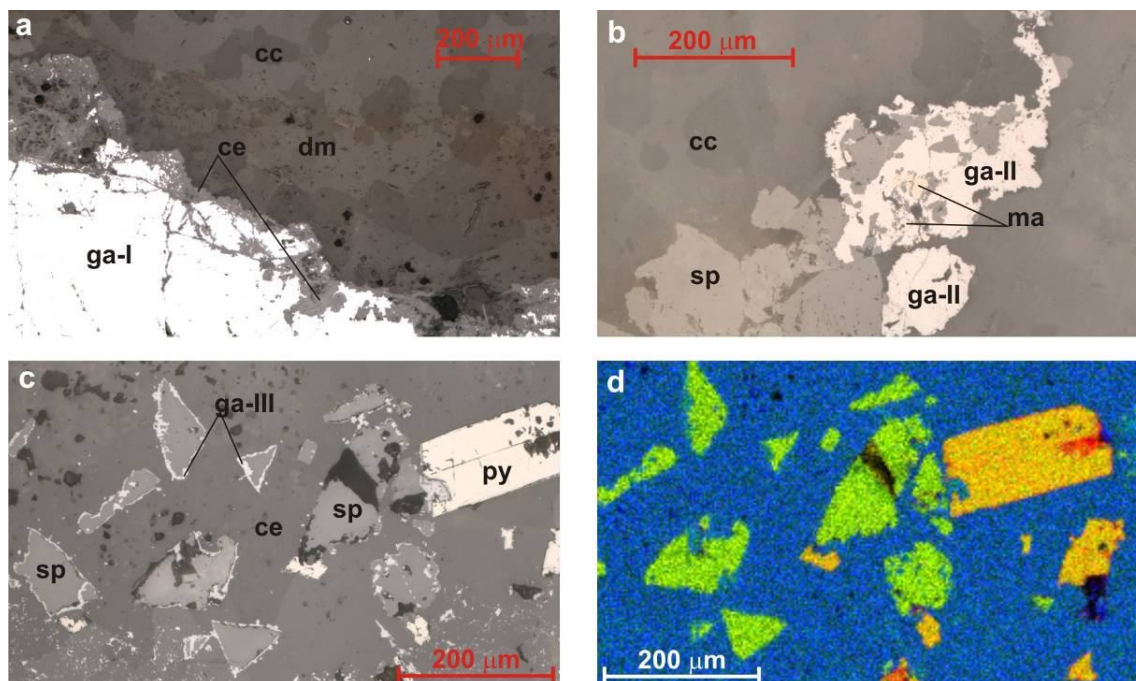
Galenit. A mežicai ércesedésben a galenit volt a fő ércásvány. Szöveti formája és mérete igen változatos, mely legalább három generáció létezését támasztja alá (12. ábra)

- Galenit-I: 500 μm-es mérettől a 3-4 mm-es nagyságú, idiomorf krisztallitokból álló tömeges galenit.

- Galenit-II: 50-200 μm-es hipidiomorf-xenomorf szemcsék, a pirit, markazit és szfalerit

szemcsékkel kiszorító pozícióban.

- Galenit-III: 10 µm alatti, xenomorf galenit mely a dolomit utáni szfalerit szemcsék szegélyén helyezkednek el.



12. ábra: a: első generációs dolomit szegélyén kivált szfalerit, melyet galenit-III szorít ki, Mežica, Dorotea-2; b: galenit-II markazitot és szfalerit szorít ki, Mežica, Moreing; c: szfalerit dolomit utáni állalakja, galenit-III szegéllyel; d: az előző minta hamisszínes elemtérképét láthatjuk a képen, az egyes elemek a következő színekkel szerepelnek: Fe-piros, Zn-zöld, Pb-kék, S-sárga. A pirit kristály végén már az oxidáció termékét, hematitot látunk (cc-kalcit, dm-dolomit, ga-galenit, py-pirit, ma-markazit, ce-cerusszit)

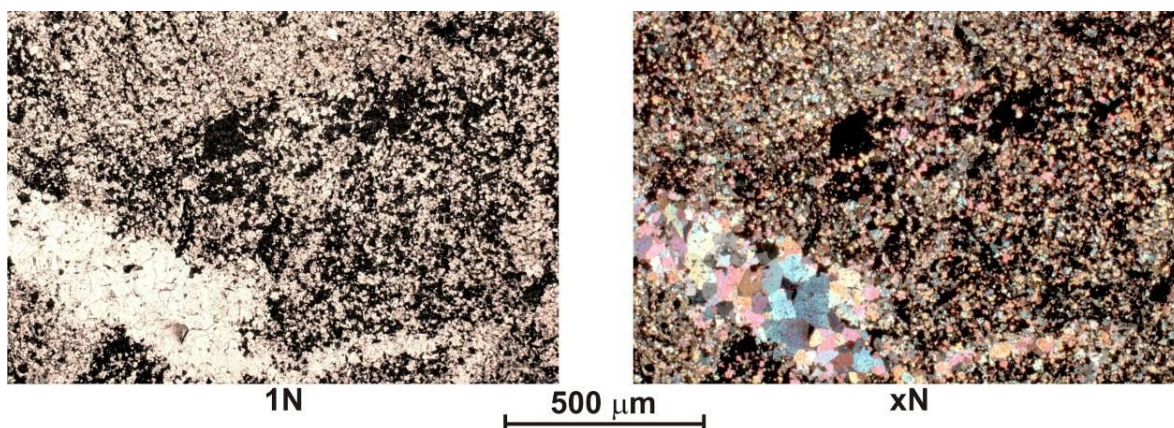
Szfalerit. Alapvetően kevesebb mennyiségben van jelen mint a galenit, általában az után válik ki, de határozott fázisokat nem sikerült elkülönítenünk. Legtöbbször tömegesen jelenek meg, mint a galenitek, hipidiomorf, 200-300 µm-es kristallitokból épülnek fel. Viszonylag ritkák dolomit és galenit utáni átalakok (12/c. ábra, 5. melléklet)

Markazit, pirit: Járulékos szulfidásványként vannak jelen, változatos alakban és méretben (11. és 12. ábra).

3. 5. 2. Toplai Öreg bányarészből gyűjtött minták

Az ércesedést befogadó kőzetet alkotó ásványok:

Agyagásványok. Méretük 10-30 μm , általában kerekded és elnyúlt alakú csomókból állnak. A toplai telepek agyagásvány-tartalmát 15%-ban maximalizálják (DROEVNIK & PUNGARTNIK, 1987), ezt az általunk végzett SEM/EDS mérések is alátámasztották (2. melléklet). Az agyag keletkezése az üledékképződéssel és a szerves anyag felhalmozódással egyidejűleg történt, még az ércesedési fázist megelőzően.

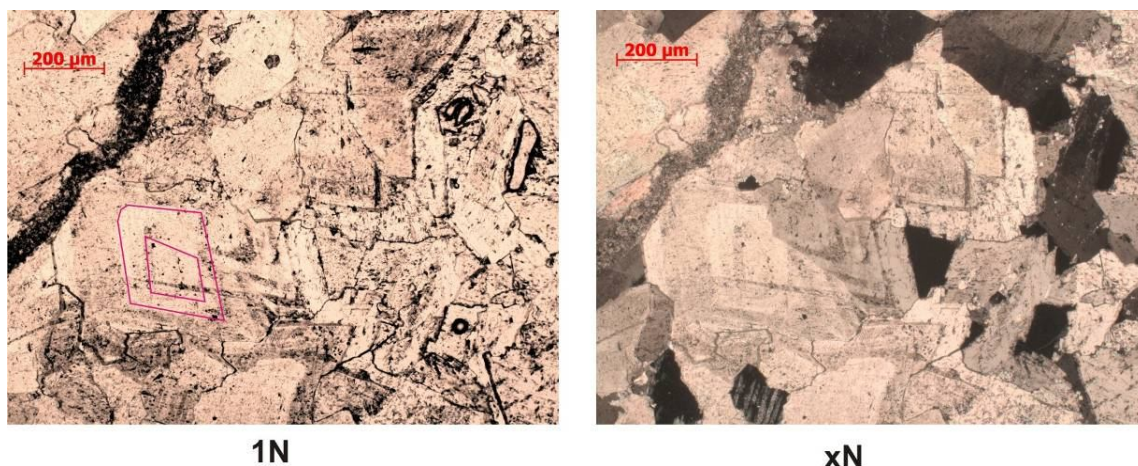


13. ábra: Topla, Öreg-bányarész, vágatban gyűjtött minta vékonycsiszolati képe. A finomszemű dolomitos és opak ásványokból álló alapanyagot nagyobb szemű karbonát szemcsékkel kitöltött, közetrések járók át, melyek az ércesedés utolsó fázisát képviselik.

Kvarc. Elvértve találkozhatunk maximum 10 μm -es, idiomorf szemcséivel. Az érctelepre nem jellemző ásvány, mely az üledékképződés közben halmozódhatott fel.

Dolomit. A karbonátos üledékképződés után Mg-metaszomatózis útján keletkezett ásvány, mely folyamat a betemetődés végéig zajlott (SPANGENBERG & HERLEC, 2006). A mintákban uralkodó mennyiségű – >65-70 % (Droevnik & Pungartnik, 1987) – fő közetalkotó ásvány, mely 10-50 μm -es, hipidiomorf-xenomorf szemcsékből áll (13. ábra). Az ásványparagenezis végső szakaszában növekedési zónásságot mutató (angolul: „saddle dolomite”) kiválása történt, mely egyben a diagenézis utolsó szakaszát jelzi (SEARL, 1989). Ehhez nagy valószínűséggel alacsony hőmérsékletű hidrotermális folyamatok kapcsolódtak (14. ábra).

Kalcit. A csiszolatokban kevés, xenomorf, általában repedéskitöltő pozícióban lévő 10-40 μm -es kalcit (13. ábra). A dolomit utolsó fázisával együtt alakulhatott ki.

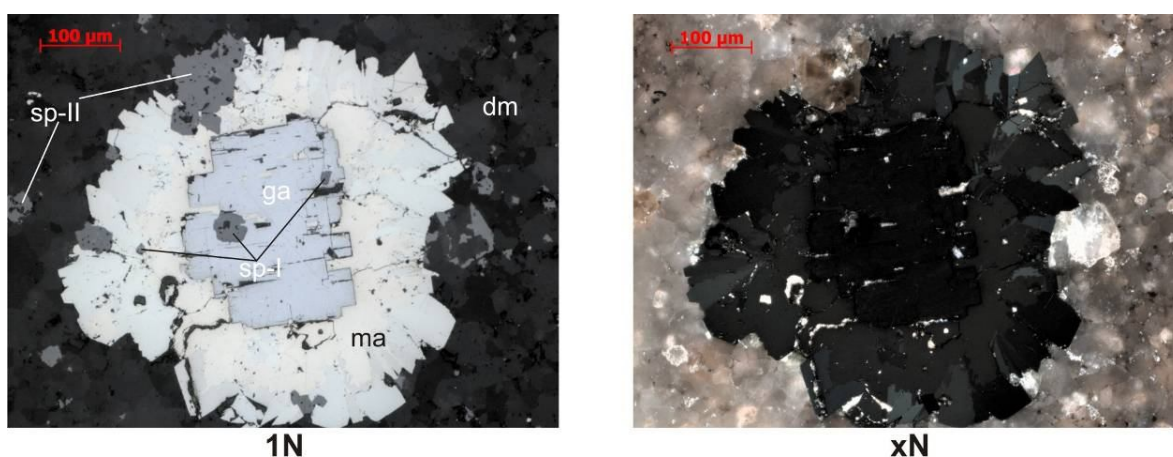


14. ábra: Topla, Öreg-bányarész, vágatból gyűjtött minta. Jól láthatók a növekedési zónásságot mutató dolomitok szerkezete (“saddle dolomite”) – magenta színnel kiemelve

Opak ásványok.

Szfalerit. A dolomit után a legnagyobb mennyiségben jelenlévő ásvány, melynek több alaki és méretbeli változatát lehet megfigyelni, melyből a szfaleritképződés legalább három fő szakaszát különítettük el. DROEVNIK ÉS PUNGARTNIK (1987), illetve KUHLEMAN ET AL. (2001) ettől többet különített el, azonban azok kisebb, lokálisan megfigyelhető fázisok, melyek jelentősége nem nagy.

- Szfalerit-I: 10-40 µm-es, gömböcskék. A szfaleritek első generációját kivétel nélkül gömbös-sugaras markazit, kevesebb mennyiségben pirit veszi körül, mintegy megőrizve azokat az ásványosodás későbbi folyamataitól. Az érctest fentebbi zónájából származó mintában a galenit zárványaként is megtalálható a szfalerit ugyanilyen megjelenése (15. ábra).



15. ábra: Topla, Öreg-bányarész, külszínen gyűjtött minta. A képeken jól láthatók az szfalerit-I globulákat magukbafoglaló galenit és markazit szemcsék, továbbá a szfalerit-II szövete

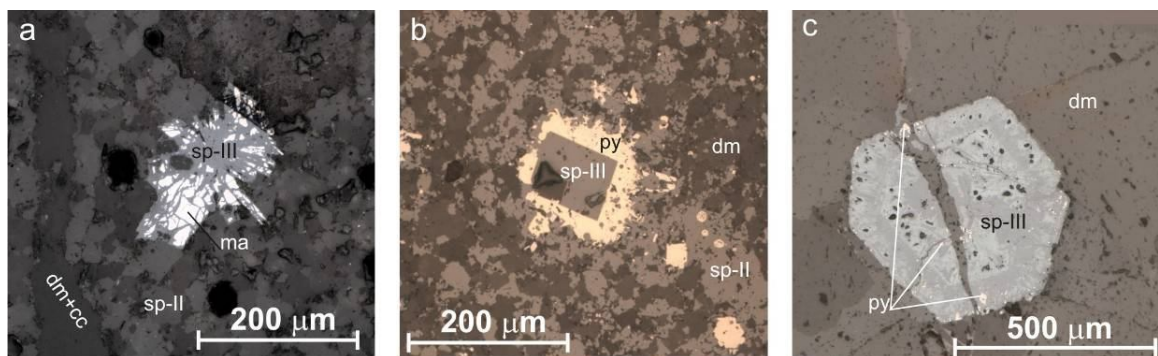
viszonya. (ma-markazit, sp-szfalerit, ga-galenit, dm-dolomit)

- Szfalerit-II: 20-150 μm , xenomorf szemcsék. A mintákban nagy mennyiségben van jelen, a dolomit szemcsék mellett. A szfalerit-I-et magába foglaló pirit és markazit szemcsék peremén kizorításos szerkezetet mutat (15. és 16/b. ábra).

- Szfalerit-III. A szfalerit utolsó kiválási fázisa, maximum 30-60 μm , xenomorf szemcsék. Sokszor alkot pirit, markazit, galenit, illetve dolomit utáni átalakokat (16. ábra).

A szfaleritek első két generációjának vastartalma igen alacsonynak (maximum 0.7 %) bizonyult a SEM/EDS mérések alapján. Magasabb vastartalmat csak a szfalerit-III-nál várhatunk, ahol piritet és markazitot szorít ki. Ezt SEM/EDS mérések alátámasztották, de a vastartalom jelentősen nem különbözik. A kadmium-tartalma a mérési határ alatt van.

Az egyes szfalerit generációk megkülönböztetésére jó eszközt szolgál a katódlumineszcens vizsgálat, melyekről bővebben olvashatunk KUHLEMANN ET AL. (2001) és KUHLMANN & ZEEH (1995) munkáiban.



16. ábra: a: Szfalerit-III markazitot szorít ki; b: szfalerit-III dolomit utáni átalakja, melyet pirit koszorú foglal magába; c: piritet felemésztő, zónás szfalerit-III. (minták származása: Topla, Öreg-bányarész, a: külszín; b,c: Teréz táro; ma-markazit, py-pirit, sp-szfalerit, ga-galenit, dm-dolomit, cc-kalcit)

Galenit

- Galenit-I: 100-300 μm nagyságú, idiomorf szemcsék képviselik galenit korai fázisát, mely zárványként magába foglalja a szfalerit-I-et, tehát időben utána következik (15. ábra). Mennyisége nem közelíti meg a szfalerit-II-ét, azonban a felső szintből származó mintákban lényegesen több van és a szemcsék is nagyobbak (max. 2 mm).

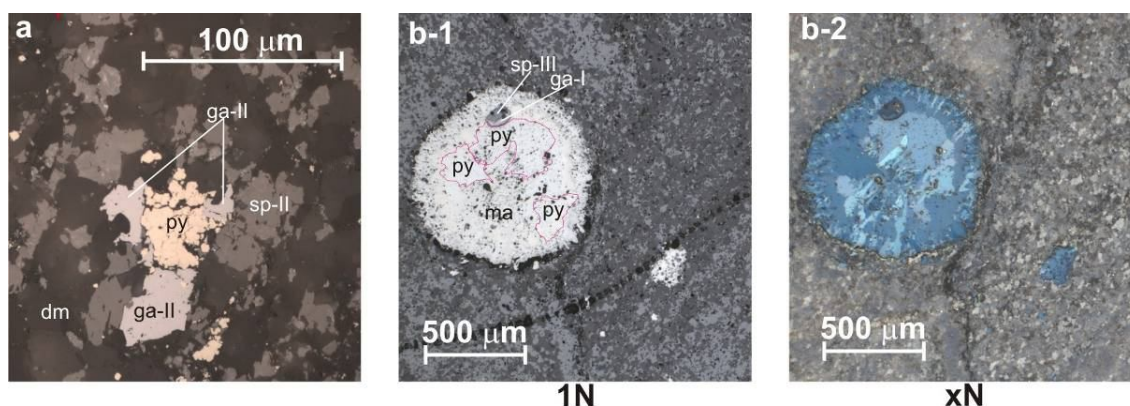
- Galenit-II: A második generációjának értelmezett 50-100 μm -es, xenomorf galenit szemcsék kizorításos szerkezeteket mutatnak a szfalerit-II-vel és a pirittel (16. ábra). A

SEM/EDS elemzések alapján a galenit ezüsttartalma nem számottevő, a mérési határérték alatt van.

Markazit. Az ércesedés során többször kiváló ásványfázis. Első megjelenése az akár néhány milliméteres nagyságú gömbös-sugaras pecsétek, melyek a szfalerit és a galenit első generációit prezerválják (15. és 17. ábra). Ezek a formák 10-40 μm -estől a 100-400 μm -ig terjedő nagyságú krisztallitokból épülnek fel, melyek a markazitra jellegzetes ikresedett növekedést mutatnak. Ez keresztezett nikoloknál kifejezetten jól látszik.

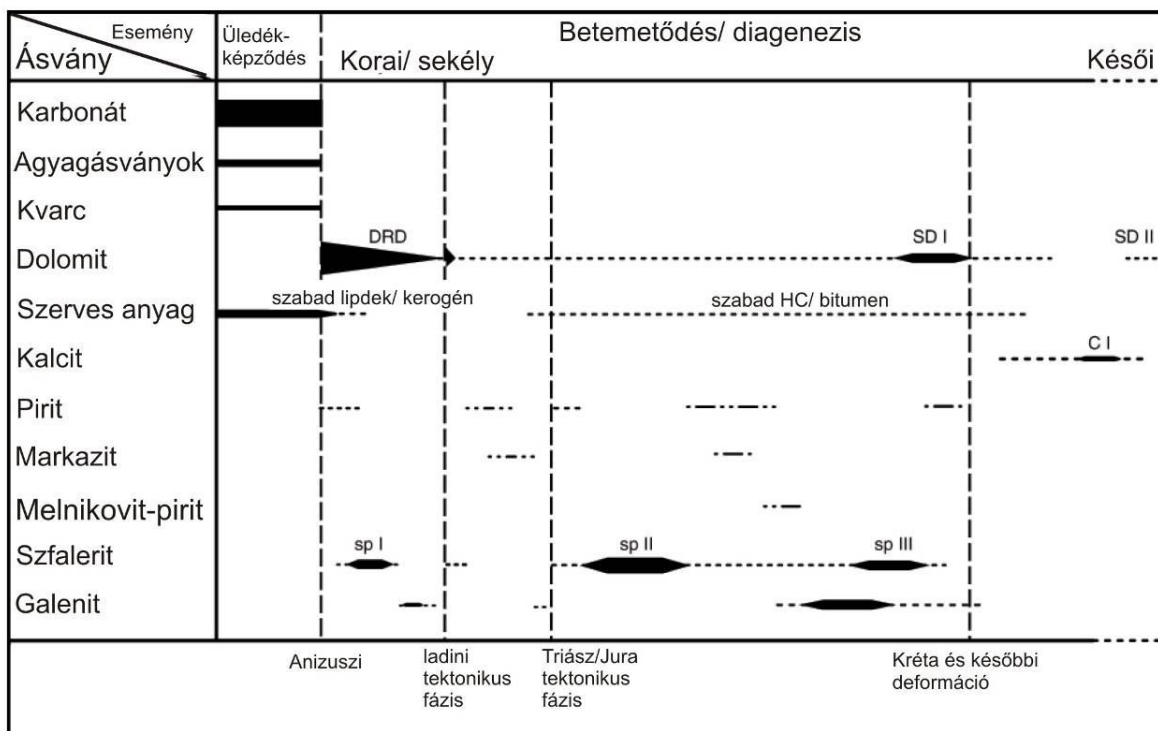
Pirit. A markazithoz hasonlóan fordul elő. Azonban megfigyelhető egy korai, még a szfalerit-I kiválását is megelőző fázisa, mely 10-20 μm -es, framboidális pirit (17/b. ábra).

E két vas-szulfid ásvány nem fordul elő nagy mennyiségben. Nem túl gyakori szövetszerkezeti kép, hogy a szfalerit-II és -III kiszorítja a korábban kivált pirit és markazit szemcséket.



17. ábra: a: framboidális piritet kiszorító galenit-II; b-1,-2: pirite-markazitos globula zárányaiként megfigyelhető szfalerit-I és galeint-I-et kiszorító szfalerit-III (ma-markazit, py-pirit, sp-szfalerit, ga-galenit, dm-dolomit)

A 2-5. mellékletben további elektron mikroszondás felvételek láthatók, melyeken keresztül szintén megfigyelhetők a szövetszerkezeti viszonyok. A 18. ábra a toplai ércesedés paragenetikai modelljét mutatja be.



18. ábra: A toplai ércesedés paragenetikai elvi sorrendje (SPANGENBERG ÉS HERLEC, 2006 alapján) DRD- sötét, metasomatikus dolomite, HC-szénhidrogén, SD- “saddle” dolomit, SP-szfalerit, C- blokkos kalcit

4. Következtetések, a rudabányai sztratiform Pb-Zn- és a toplai ércesedés hasonló teleptani jellegzetességei, összefoglalás

Az ércesedések térben egymástól távol, azonban genetikájukban igen közel állnak egymáshoz. A következőkben kiemeljük a hasonlóságokat és a különbségeket a két érctelep között. Mindenekelőtt fontos szem előtt tartani azt az alapvető litológiai különbséget, hogy míg a toplai lelőhely esetében az ércesedés szinte tiszta karbonátos (dolomit) üledékben jött létre, addig a rudabányai agyagos – karbonátos üledékben. Ez az ércszállító oldatok áramlását és a kristályosodást befolyásoló paramétereknek (permeabilitás, porozitás) különbözőségét eredményezi, így nem vonható teljes párhuzam a két lelőhely között. A toplai ércesedésnek diagenetikus szakaszáról több szerző is említést tesz (SPANGENBERG & HERLEC, 2006; DROEVNIK & PUNGARTNIK, 1987; ETC.), ami azonban a rudabányainál eddig nem volt kimutatható. További különbség még, hogy a toplaihoz képest Rudabányán megközelítően ötször több a szfalerit mennyisége, és ásványfajokat tekintve alapvetően gazdagabb, ami persze a későbbi ércesedési folyamatok eredménye is. A mežicai és toplai telepek mai napig

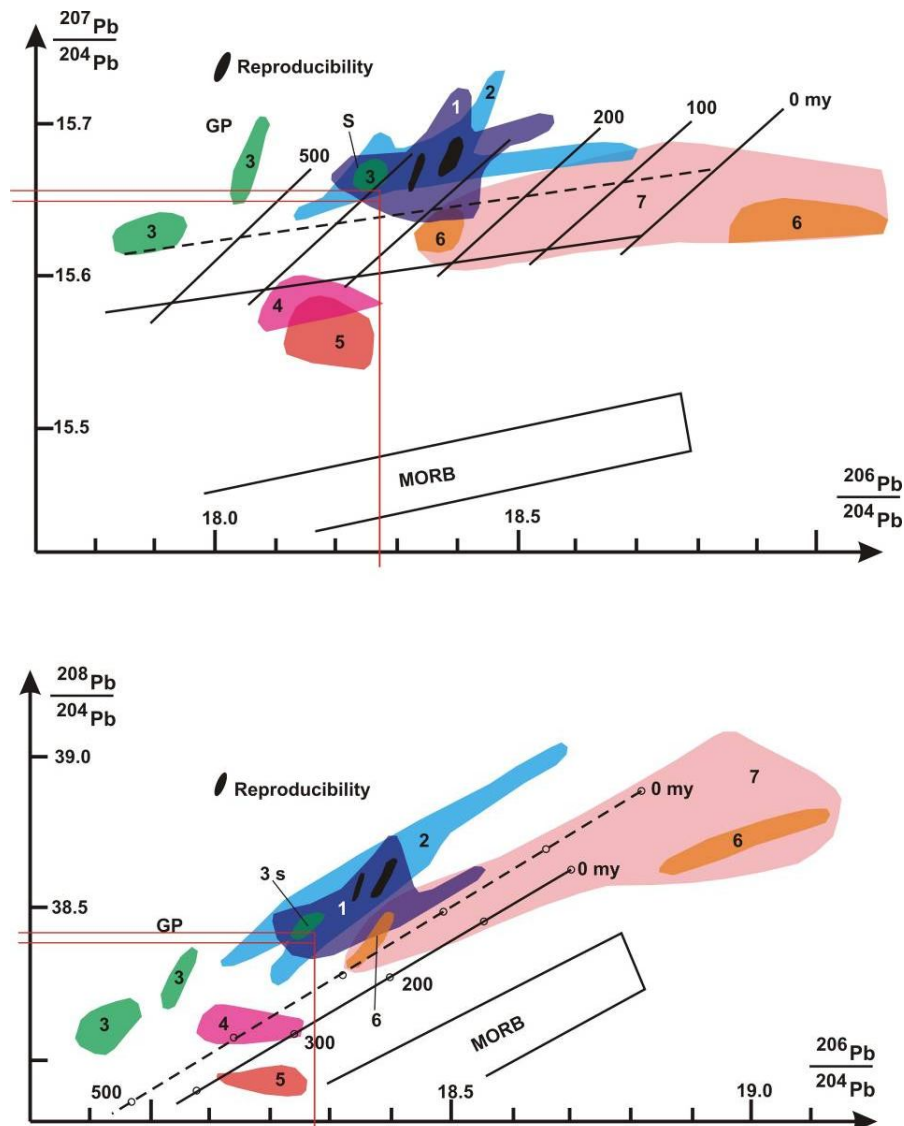
elfogadott ércesedési modelljét DROEVNIK ÉS PUNGARTNIK (1987) munkájában olvashatjuk. Ők a Mississippi Valley típusú ércesedésnek azonosították ezeket, melynek részleteiről bővebben SANGSTER (1976) és MAYNARD (1983) munkáiban olvashatunk. A szigorúan vett besorolás szerint az MVT Alpi altípusába helyezzük (LEACH ET AL. 2010). Azonban a toplai lelőhely ehhez képest eltér, ugyanis a toplai ércek gyakran rétegszerű elhelyezkedést mutatnak, ami sztratiform jellegzetesség. A rudabányai ércesedés hasonló voltát nehéz felismerni, ugyanis későbbi szerkezeti mozgások átdolgozták, illetve más típusú ércesedések felülbélyegezték és mobilizálták az elsőként keletkezett sztratiform Pb-Zn-dúsulást. Ezt a kutatók inkább üledékes-exhalációs (SEDEX) eredetűnek gondolják (NÉMETH ET AL. 2013). Azonban a modern kor eszközparkjával felfegyverkezve a két lelőhely kapcsolata nyomozhatóvá, bizonyíthatóvá vált.

Kristálykémia vonatkozásban a sztratiform típusú ércesedésekre a következő bélyegek jellemzőek, melyek a toplai és a rudabányai ércesedésre egyaránt igazak: A galenitek alacsony ezüst tartalma, a szfalerit generációk alacsony vas tartalma, ebből következően fakóbb színű példányai. A szakirodalomban elfogadott üledékes Pb-Zn ércesedési modellhez képest (Craig és Vaughan 1994) a két lelőhely kivételnek számít a kadmium tartalom szempontjából. A toplai szfaleritben nem magas ennek az elemnek a koncentrációja. A rudabányai szfaleritben szintén csak a későbbi, hidrotermális eredetűek bírnak magasabb kadmium tartalommal.

A két lelőhely ércesedésének hasonló eredetére szintén bizonyíték erejű, ha a szövetszerkezeti viszonyokat vizsgáljuk. Az átlagosan kisméretű szfalerit, galenit, továbbá a kollomorf – framboidális pirit és markazit, mely mindkét lelőhelyre igaz, tipikusan a sztratiform típusú ércesedésre utalnak.

A toplai ércesedés esetében nagy szervesanyag-tartalom jellemző, mely egyes szerzők szerint közreműködhetett az ércdúsulás kialakulásában (SPANGENBERG ÉS HERLEC, 2006). Rudabánya esetében hasonló mértékű szerves anyag tartalom nem ismert. Az organikus anyag pozitív volta újabb kapocs lenne a toplai ércesedés felé. Ennek felderítése a jelenlegi kutatás új irányát jelöli ki.

A toplai lelőhely esetében az érchozó oldatok, az üledékgyűjtő közelében lévő sós vizű források voltak, melyek fémtartalmának eredete ólom izotópos mérések alapján felső-karbon, illetve perm korú magmás kőzeteknek adódtak (KÖPPEL, 1983). Az Alpokból származó ólomizotóp arány adatokat a 19. ábrán láthatjuk összefoglalva.



19. ábra: Ólom izotóp evolúciós diagramok (KÖPPEL, 1983 alapján) növekedési görbékkel (folytonos vonal: $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}=9.74$, $^{232}\text{Th}/^{204}\text{Pb}=37.19$ és az izokronok) STACY AND KRAMERS (1975) alapján; szaggatott vonal CUMMING AND RICHARDS (1975) alapján; ezek a görbék a földkéregben található általános ólom evolúcióját jelölik. MORB=óceánközépi hátság bazaltjai (Atlanti- és Csendes-óceán) (SUN, 1980). A piros színű egyenesek a rudabányai galenitből származó mérési eredményeket szemléltetik, (ld.: 1. táblázat)

A színezett mezők a Déli- és Keleti-Alpokban található ólom-cink ércesedésekben kapott eredményeket szemlélteti, melyek a következők: 1. Pb-Zn ércesedés triász kőzetekben, a fekete foltok a nagyobb lelőhelyeket jelzik: Bleiberg-Kleuth, Raibl, Mežica, Salafossa, Gorno, Auronzo, Lafatsch, 2. Metamorf, teléres ércesedés (Lugano-Varese), 3. Stratbound és sztratiform ércesedések a Keleti-Alpokban; GP-Grazer Paleozoikum, S – Schneeberg. Pennini egység: 4. Scheelit előfordulás (Felbertal). 5-Arany és scheelit telepek a Hohe Tauern keleti végén. 6-Hohe Tauern, teléres arany ércesedés. 7-Közép-Alpi Pennini egység (Wallis) teléres,

sztratiform és sztratabound típusú ércesedések, a Tauern Ablakkal együtt.

Ólomizotópos mérések Rudabányáról származó mintákról is készültek, melyek eredményei az 1. táblázatban láthatók.

	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
Minta 1.	18,272	15,656	38,424
Minta 2.	18,271	15,649	38,384

1. táblázat: Rudabányai galenit mintákban mért ólomizotóp arányok. A méréseket a Svéd Természettudományi Múzeumban, Stockholmban, Micromass Isoprobe ICP tömegspektrométeren végezték. Az adatokhoz Dr. Benkó Zsolt (Karl-Franzens Universitaet Graz) jóvoltából jutottunk hozzá.

A rudabányai mintákon mért ólomizotóp arányokat összevetve a déli- és a keleti-alpi ércesedések hasonló adataival (19. ábra), megerősíti bennünk azt a feltevést, hogy az Északi-Karavankákban található sztratiform, ólom-cinkércesedések és a rudabányai sztratiform, egyben legidősebb, szintén ólom-cink ércesedés forrása azonos lehet.

Megjegyezzük, hogy a rudabányai fiatalabb és a toplaihoz képest szintén fiatalabb mežicai MVT ércesedések jellegükben és eredetükben is különböznek a rudabányai és a toplai üledéskes Pb-Zn telepektől.

5. Köszönetnyilvánítás

Köszönjük konzulensünknek dr. Németh Norbertnek, hogy segített a dolgozat témájának kiválasztásában, valamint szakmai tudásával, támogatásával hozzájárult, a dolgozat elkészítéséhez.

Köszönjük, hogy a Rotaqua Kft. és a Ásványtani-Földtani Intézet együttműködésében lehetőség nyílt a szlovéniai ércesedések tanulmányút keretében való megtekintésére, mintavételezésre, ezzel megalapozva a dolgozat lényegét.

Köszönettel tartozunk a Miskolci Egyetem tanárainak, dr. Máдай Ferencnek, dr. Zelenka Tibornak és dr. Zajzon Norbertnek, hogy segítségünkre voltak a vékonycsiszolatok és minták elemzésében, kiértékelésében, valamint biztosították a műszeres háttér szakértő felügyelet melletti alkalmazását.

Köszönjük a Rotaqua Kft. dolgozóinak, Gerges Anitának, Tóth Szabolcsnak és Kasó Attilának a mintavétel során nyújtott segítségét, valamint dr. Benkó Zsoltnak (Karl Franzens Universität Graz) az ólomizotóp adatok rendelkezésünkre bocsájtását.

Felhasznált irodalom

- Balogh K. és Pantó G. 1952: A Rudabányai-hegység földtana. MÁFI évi jelentése 1949-ről, p. 135.
- Csalagovits I. 1973: A Rudabánya környéki triász összlet geokémiai és ércgenetikai vizsgálatának eredményei. – MÁFI évi jelentés az 1971 évről, 61-90.
- Cumming, G. L., Richards, J. R., 1975, Ore lead isotope ratios in a continuously changing earth. *Earth Planet Sci. Lett.* 28:155-171.
- Czerny, I. 1989. Die karbonatgebundenen Blei-Zink-Lagerstätten des alpinen und ausseralpinen Mesozoikums. Die Bedeutung ihrer Geologie, Stratigraphie und Faziesgebundenheit für Prospektion und Bewertung [Carbonate hosted lead-zinc deposits of the Alpine and other Mesozoic successions. The importance of their geology, stratigraphy and facies dependence for prospecting and evaluation]. *Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt*, 11, pp 5–126
- De Vos W, Batista, M.J, Demetriades, A, Duris, M., Lexa, J, Lis, J, Marsina, K. and O'Connor, P.J. 2005) Metallogenic mineral provinces and world class ore deposits in Europe. *In* Salminen, E. ed., *Geochemical Atlas of Europe* (<http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/article.php?id=8>)
- Droevnik M., 1983: Mobilization of ore and gangue minerals in some Slovenian mineral deposits. *Schr Reihe Erdwiss Komm* 6, pp.75–85.
- Droevnik M., Plenicar M. & Droevnik F., 1980: Nastanek rudisc v SR Sloveniji. *Geologija* 23, pp. 1-163.
- Droevnik, M., Pezdi c, J., and Pungartnik, M., 1988, Sulfur isotope composition of sulfides in the zinc-lead deposit Topla (in Slovene): *Razprave Slovenske Akademije Znanosti in Umetnosti*, 4 razreda, v. 29, p. 113–128.
- Droevnik, M., Pungartnik, M., 1987, Origin of the zinc-lead ore deposit Topla and its particularities: *Geologija*, v. 30, p. 245–314.
- Fodor B 2003: Magyarország ásványi nyersanyagvagyon , Magyar Geológiai Szolgálat, 205 Földessy J, Németh N, Gerges A, 2010b: A rudabányai színesfém-ércesedés előzetes földtani eredményei, in *Földtani Közlöny*, 140/3, MÁFI, Budapest, pp 445-468
- Fodor L., Jelen B., Marton E., Skaberne D., Čar J., Vrabec M., 1998, Miocene–Pliocene tectonic evolution of the Slovenian Periadriatic fault: implications for Alpine–Carpathian extrusion models. *Tectonics* 17, pp. 690–709.
- Földessy J, Németh N, Gerges A, 2010b: A rudabányai színesfém-ércesedés előzetes földtani eredményei *Földtani Közlöny*, 140/3, MÁFI, Budapest, pp. 445-468.
- Földessy J, Németh N, Kupi L, Majoros P, Gerges A, 2010a: A múltból a jövőbe: Rudabánya újra jelentős ércelelőhelyünk, *A Miskolci Egyetem Közleménye, A sorozat, Bányászat*, 79. kötet, pp: 17-19.
- Fülöp J, 1986: Bevezetés Magyarország geológiájába, Akadémia kiadó, Budapest
- Grafenauer, S., 1958, Diskusija k clanku Rudarsko-geoloska karakteristika Rudnika, Mežicaežica, *Geologija* 4., pp. 229-236, Ljubljana.
- Haas J. (ed.), 2001, *Geology of Hungary* , Eötvös University Press, 317 p.
- Hernyák G, Harnos J, Baros G, 1969: Földtani jelentés a rudabányai vasércbánya és annak közvetlen környékén végzett szerkezetkutató mélyfúrásokról 1955 és 1965 között, Rudabánya, Kézirat
- Koch A, 1904: A Rudabányai-szentandrás-hegyvonulat geológiai viszonyai, *Matematikai és Természettudományi*

Értesítő , pp132–145.

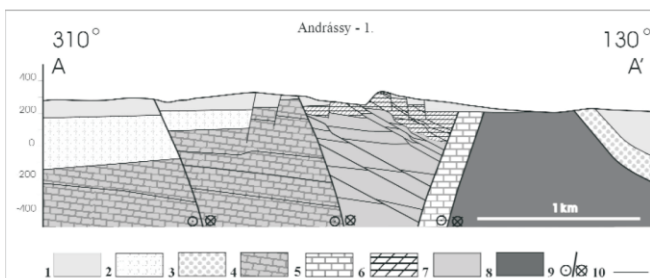
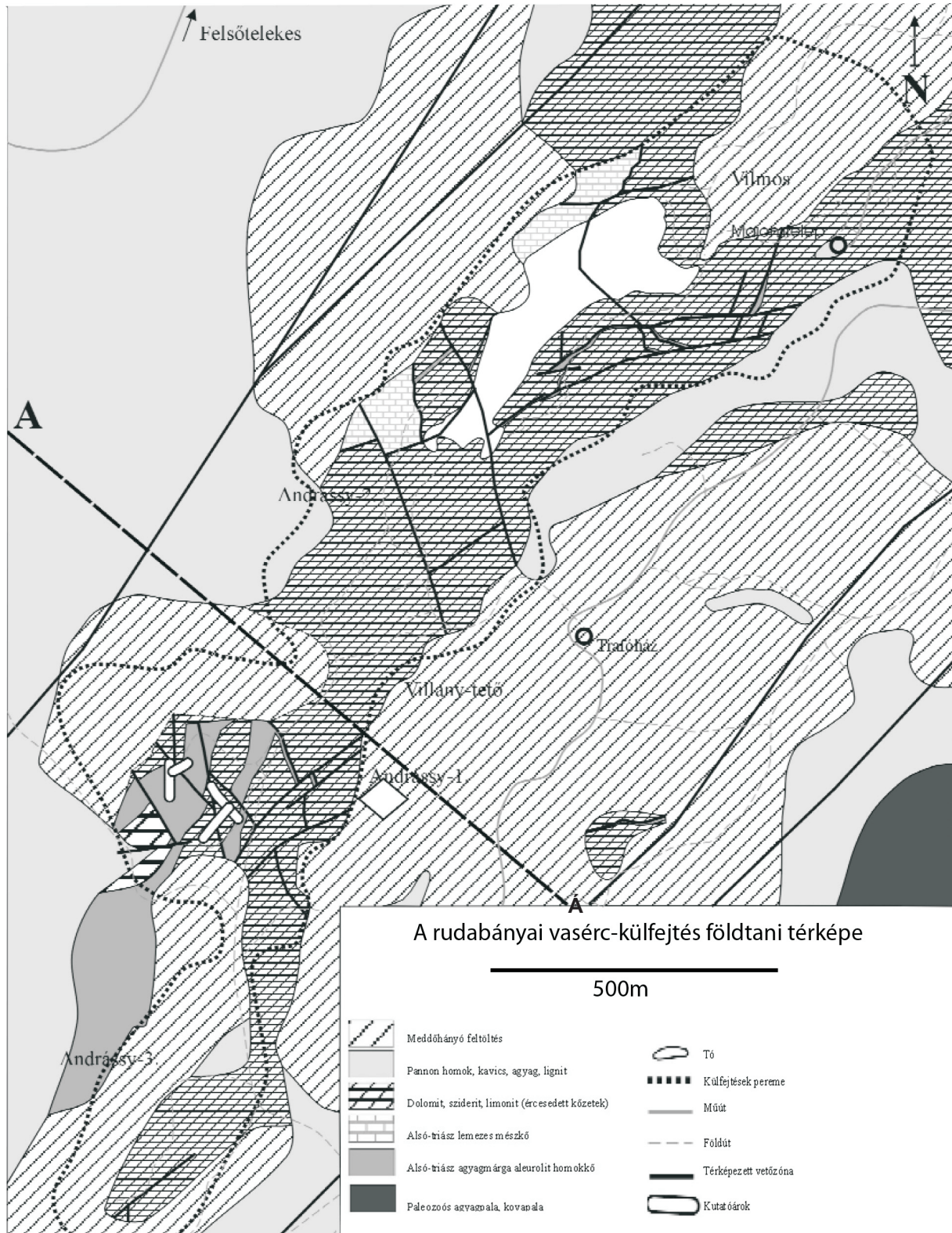
- Koch S, 1985: Magyarország ásványai, 2. átdolgozott kiadás, Akadémiai kiadó, pp. 79-124
- Köppel, V. and Schroll, E. ,1985: Herkunft des Pb der Triassischen Pb-Zn-Vererzungen in den Ost- und Südalpen. Resultate bleiisotopengeochemischer Untersuchungen [Origin of the Pb in Triassic Pb-Zn mineralizations in the Eastern and Southern Alps. Results of isotope geochemical studies]. Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt, v. 6, p. 215–222. (in German)
- Köppel, V., 1983, Summary of lead isotope data from ore deposits of the Eastern and Southern Alps: Some metallogenetic and geotectonic implications in Schneider, H.-J. (ed.) Mineral Deposits of the Alps and of the Alpine Epoch in Europe, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg
- Kuhlemann, J., and Zeeh, S., 1995, Sphalerite stratigraphy and trace element composition of East Alpine Pb-Zn deposits (Drau Range, Austria-Slovenia): Economic Geology, v. 90, p. 2073–2080.
- Kuhlemann, J., Vennemann, T., Herlec, U., Zeeh, S., and Bechstädt, T., 2001, Variations of sulfur isotopes, trace element compositions, and cathodoluminescence of Mississippi Valley-type Pb-Zn ores from the Drau Range, Eastern Alps (Slovenia-Austria): Implications for ore deposition on a regional versus microscale: Economic Geology, v. 96, p. 1931–1941.
- Kupi L., 2011, Paragenetikai vizsgálatok a rudabányai szinesfémércesedés transzparens- és opkaoptikai megfigyelések alapján, Kutatási jelentés, Miskolci Egyetem – Oviedoi Egyetem
- Less Gy., Grill J., Szentpétery I., Róth L. & Gyuricza Gy. 1988: Az Aggtelek-Rudabányai hegység 1:25000 földtani térképe , MÁFI, Budapest
- Leach, D.L., Taylor, R.D., Fey, D.L., Diehl, S.F., and Saltus, R.W., 2010, A deposit model for Mississippi Valley-Type lead-zinc ores, chap. A of Mineral deposit models for resource assessment: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5070–A, 52 p.
- Maynard, J. B., 1983, Geochemistry of sedimentary deposits, Springer, New York — Heidelberg
- Németh N, Földessy J, Kupi L, Iglesias, J.G., 2013: Zn-Pb mineralization types in the Rudabánya Ore Bearing Complex, Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences
- Pálffy M. 1924: A Rudabányai-hegység geológiai viszonyai és vasérctelepei MÁFI évi jelentés az 1971-es évről 26/2, 1-27
- Pantó E., Pantó G., Podányi T., Moser K, 1957: Rudabánya ércbányászata – Országos Bányászati és Kohászati Egyesület, Budapest, 421
- Pantó G, 1952: Bányaföldtani tanulmány Rudabányán és környékén, MÁFI évi jelentése az 1948-as évről, pp127-135
- Pantó G, 1956: A rudabányai vasércvonulat földtani felépítése, in a Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve XLIV kötet 2. (záró) füzet, Műszaki Könyvkiadó, Budapest pp: 329-637.
- Péczely A, 1935: Geológiai feljegyzések Rudabányáról, Kézirat, MGSZ Adattár is Szakáll S, 2001: Rudabánya ásványai, Kőország Kiadó, Budapest, pp:13-47
- Poltnig W. & Herlec U., 2011, Full geological description of geopark karavanke. pp. 21-87.
- Recnik A., 2010, Minerals of the lead and zinc ore deposit Mežica (Rehms-Druck GmbH, Ljubljana) pp. 5-42.
- Sangster, D. F., 1976, Carbonate-Hosted Lead-Zinc Deposits in K. H. Wolf (ed.) Handbook of Stratabound and Stratiform Ore Deposits, Vol. 6., Elsevier, Amsterdam, pp. 447-456.
- Schmidt S, 1884: Felső-Borsod vasércfekhelyei, Földtani Értesítő, p 105
- Searl A., 1989, Saddle dolomite: a new view of its nature and origin, Mineralogical Magazine, December 1989, Vol. 53, pp. 547-555.
- Shréter 1945: Uppony, Dédes és Nekézseny továbbá Putnok vidékének földtani viszonyai, Földtani Intézet Évi Jelentése 1941-42-ről, p 16-196
- Spangenberg, J. E. and Herlec, U., 2006, Hydrocarbon biomarkers in the Topla-Mežica-Žica zinc-lead deposits,

- Northern Karavanke/Drau Range, Slovenia: Paleoenvironment at the site of ore formation. *Economic Geology*, v. 101, pp. 997-1021.
- Stacey, J. S., Kramers, J. D., 1975, Approximation of terrestrial lead isotope evolution by two stage model. *Earth Planet Sci Lett.* 26:207-221.
- Štrcl I., 1970, Stratigrafske in tektonske razmere v vzhodnem delu severnih Karavank. *Geologija* 13, pp. 5-20.
- Štrcl I., 1974, Stratigraphic and tectonic development of the eastern part of the Northern Karavanke Mts. *Geologija* 17, pp. 299–397. (szlovénül)
- Štrcl, I., 1984, Geološke, geokemične in mineraloške značilnosti rude in prikamnine svinčevocinkovih orudenj mežiškega rudišča. *Geologija – Razprave in poročila*, 27. knjiga: pp. 202 – 327.
- Sun, S.-S., 1980, Lead isotopic study of young volcanic rocks from mid ocean ridges, ocean islands and arcs. *Phil. Trans. R. Soc. London A.* 279:409-445.
- Szakáll S, 2001: Rudabánya ásványai, Kőország Kiadó, Budapest, pp:13-47.
- Szentpétery I, Less Gy, 2006: Az Aggtelek-Rudabánya hegység földtana in Magyarország tájegységi térképsorozata, Magyarázó az Aggtelek-Rudabánya-hegység 1988-ban megjelent 1:25 000 arányú fedetlen földtani térképléphez InnovaPrint Kft, Budapest
- URL ¹: <http://www.portergeo.com.au/database/mineinfo.asp?mineid=mn267>, 2012.10.15.
- Zorc, A., 1955, Rudarsko geoloska karakteristika rudnika Mežicaežica, *Geologija* 3., pp. 24-80., Ljubljana

Melléklet

1. Melléklet

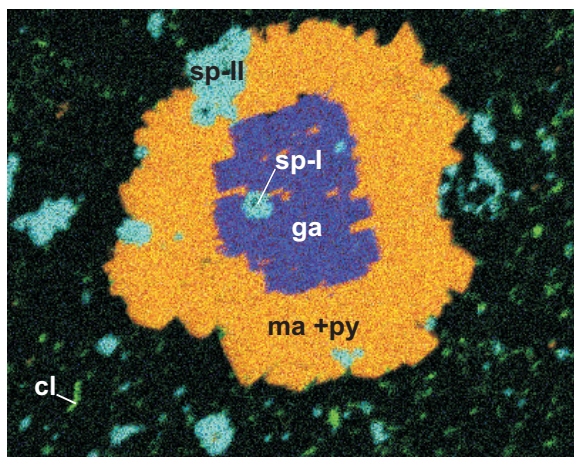
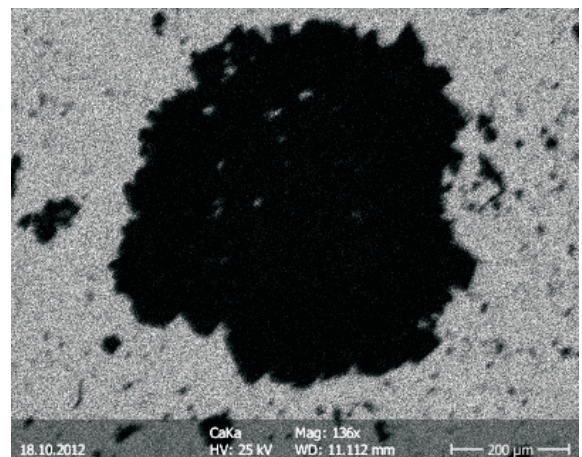
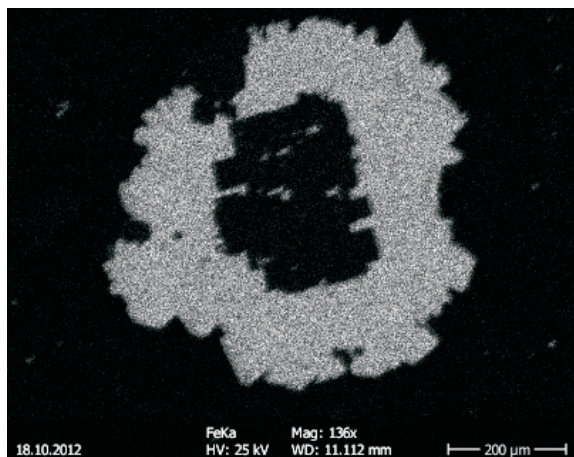
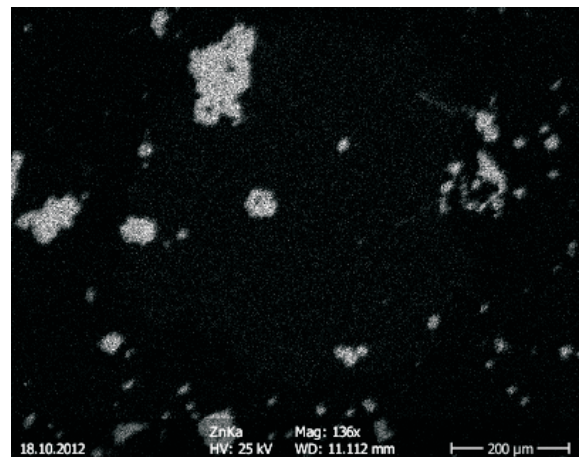
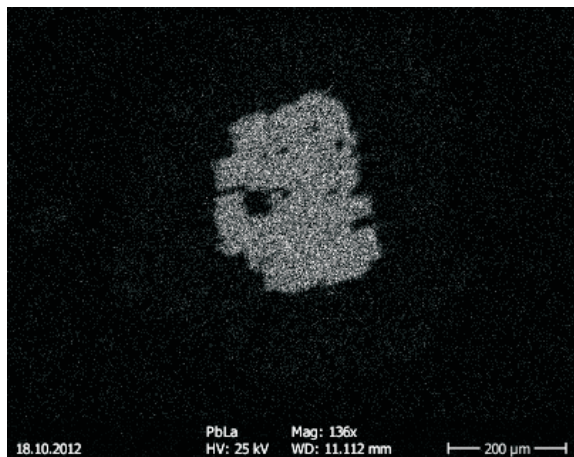
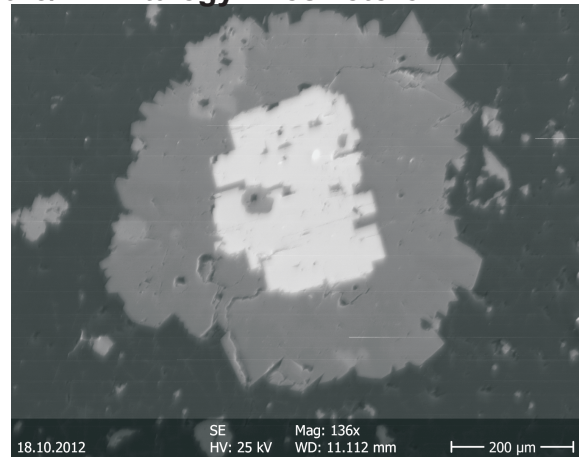
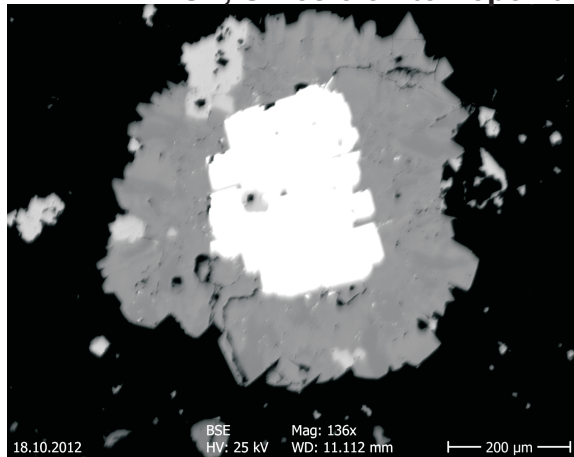
A rudabányai vasérc-külfejtések földtani térképe (Földessy et al, 2010/b)



- 1-Pannon üledékek (homok, aleurit, agyag, kavics, lignit),
- 2-Szécsényi Slír F. (homok, aleurit),
- 3-Szuhogyi Konglomerátum F. (kavics, aleurit),
- 4- Felső-triász rétegsor (tűzköves mészko, márga),
- 5-Középső triász rétegsor (platform fáciesű mészko, tűzköves mészko, márga), 6-Alsó-triász ércesedett kőzetek (dolomit, sziderit, mészko, márga),
- 7-Permi-alsó-triász rétegsor, az ércesedett kőzetek fekéje (homokkő, aleurolit, agyagpala, evaporit)
- 8- Upponyi egység (agyagpala, kovapala, tufás mészko),
- 9- a Darnó-zóna fővetői (balos oldaleltolódás),
- 10- vetők

2. Melléklet

BSE, SE és elemtérképek a Topla-5/1 minta egyik részletéről



Hamisszínezett montázs az egyes elemtérképekből összeállítva:

Pb = sötétkék

S = sárga

Fe = piros

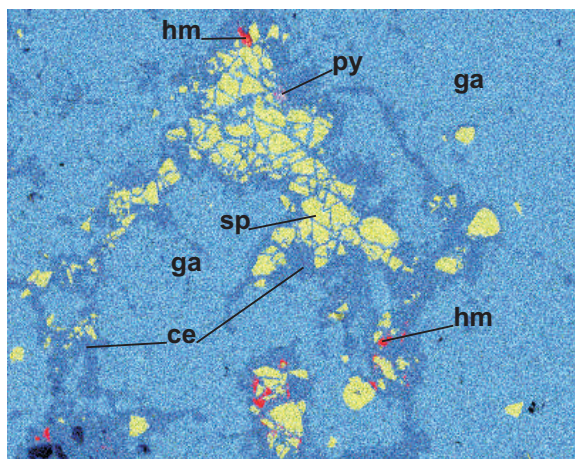
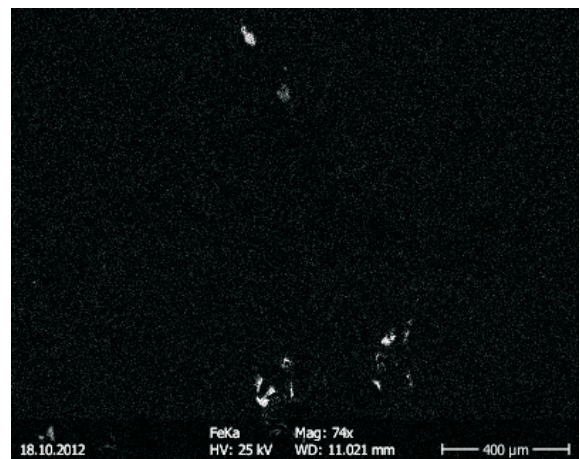
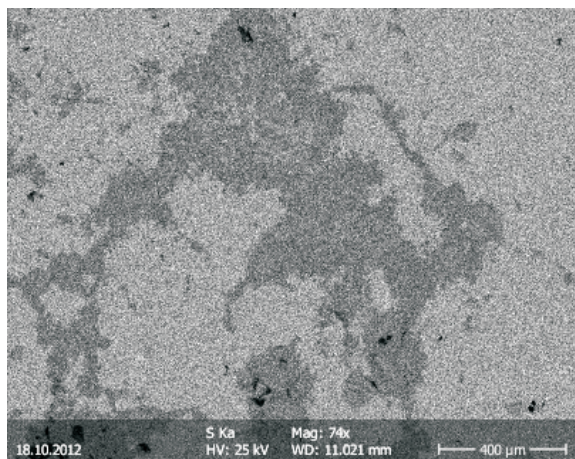
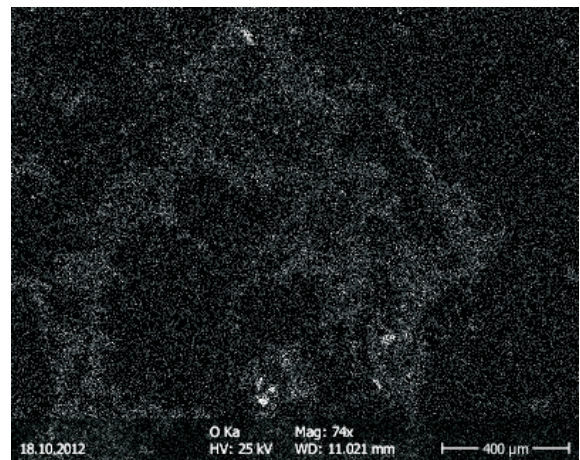
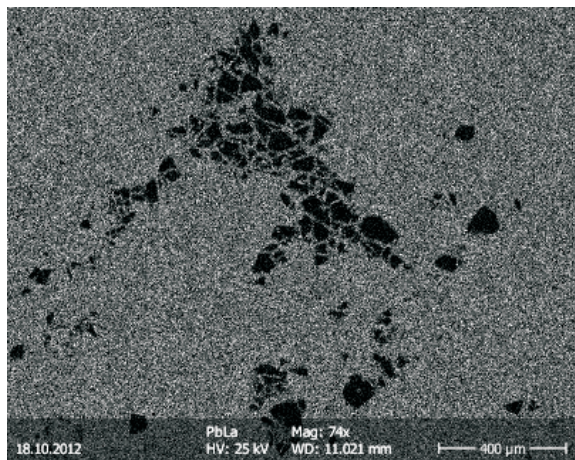
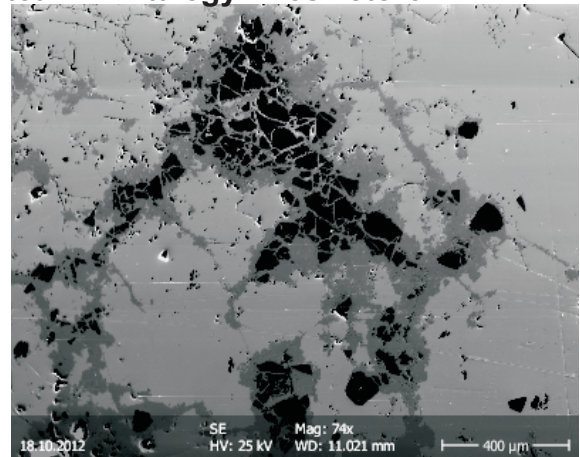
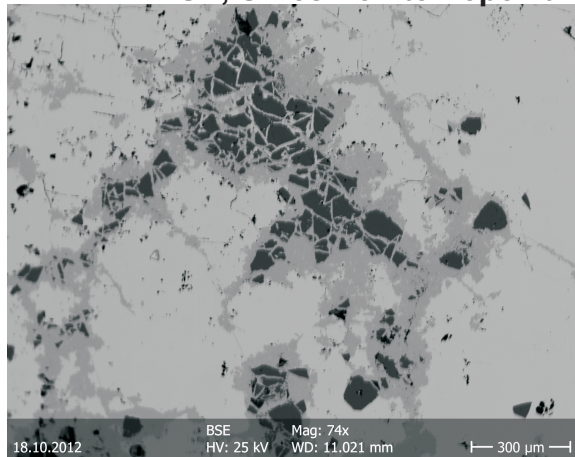
Zn = cián

Al = zöld

ga-galenit, sp-szfalerit, ma-markazit, py-pirit
cl - agyagásvány,

3. Melléklet

BSE, SE és Elemtérképek a Dorotea-1 minta egyik részletéről



Hamisszínezett montázs az egyes
elemtérképekből összeállítva:

Pb = kék

S = világoskék

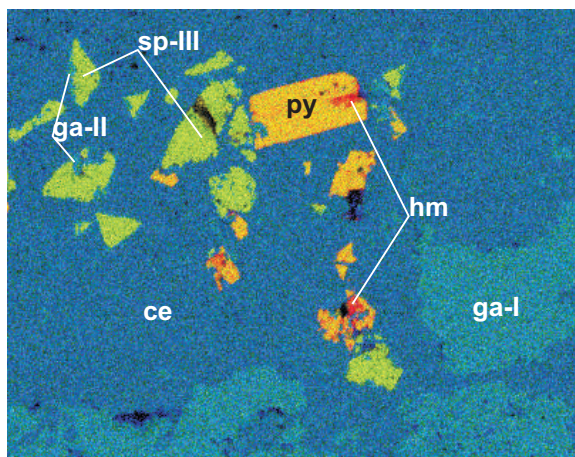
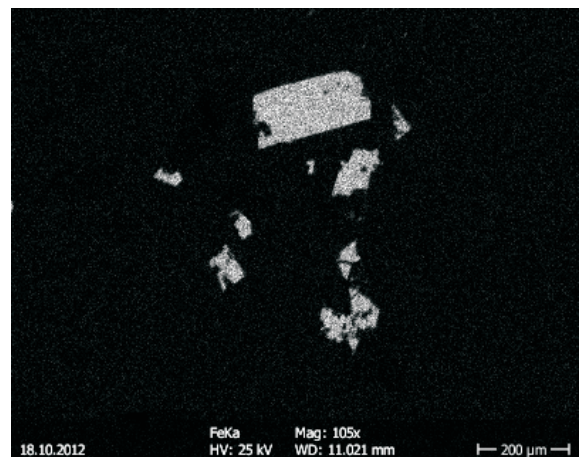
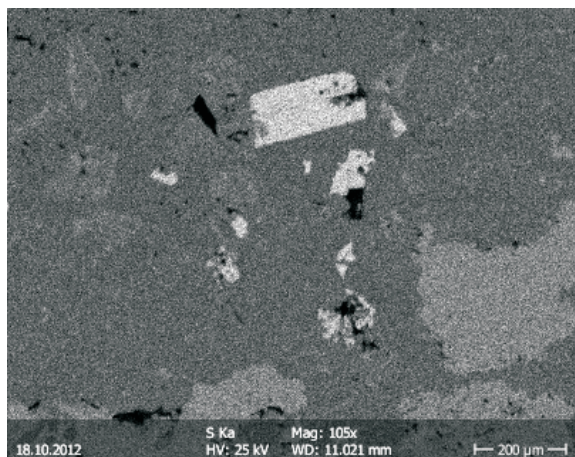
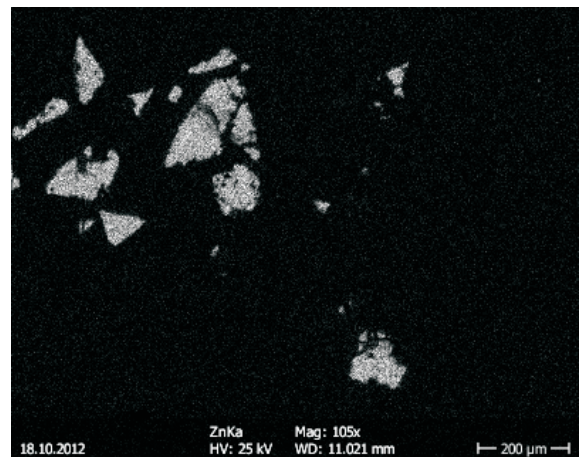
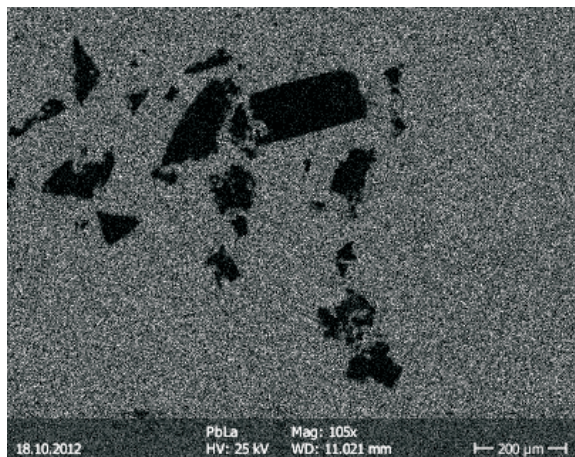
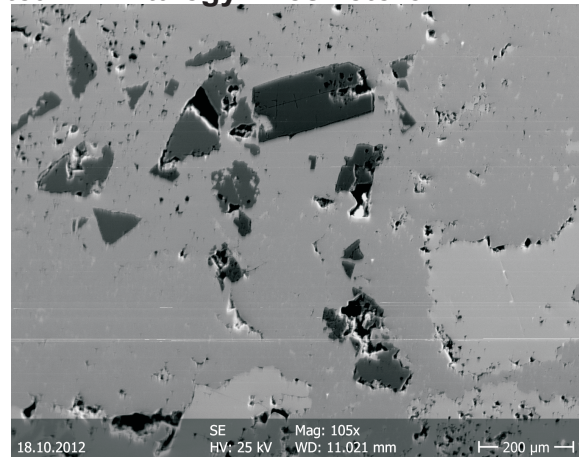
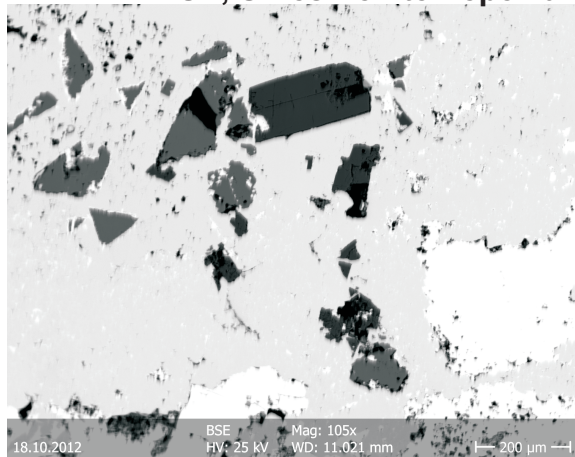
Fe = piros

Zn=sárga

ga-galenit, sp-szfalerit, ce-cerusszit, hm-hematit
py-pirit

4. Melléklet

BSE, SE és Elemtérképek a Dorotea-2 minta egyik részletéről



Hamisszínezett montázs az egyes elemtérképekből összeállítva:

Pb = kék

S = világoskék

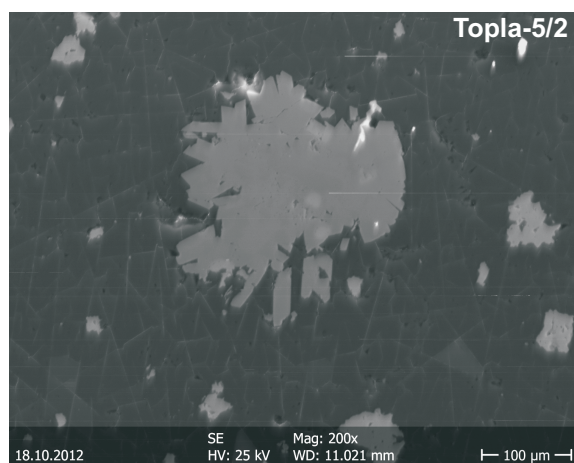
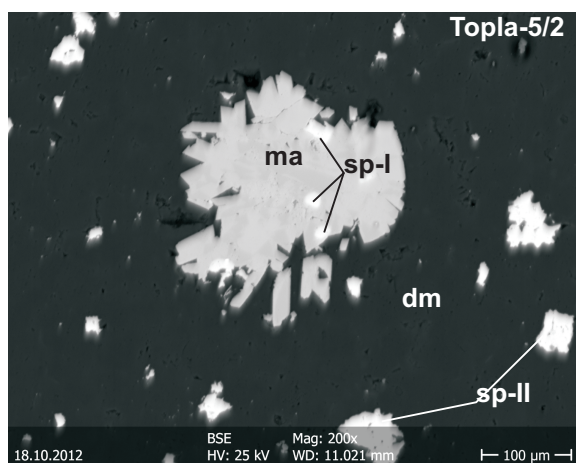
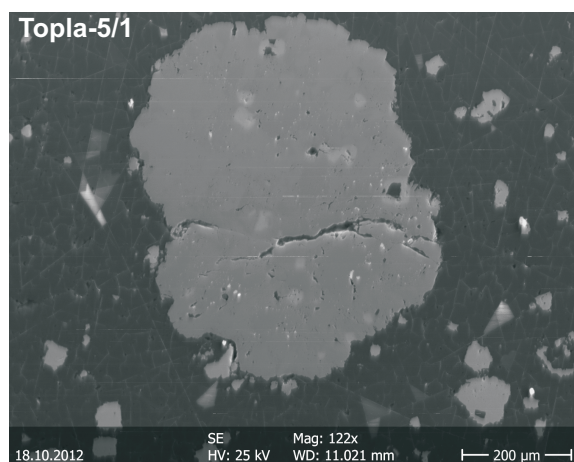
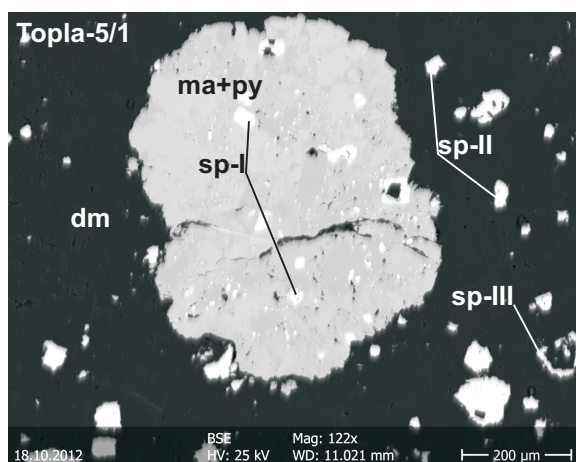
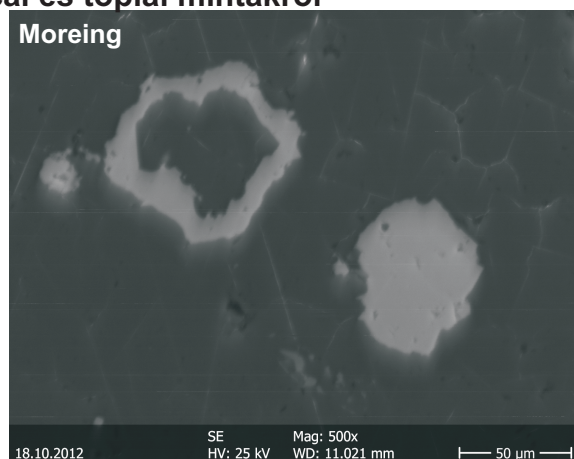
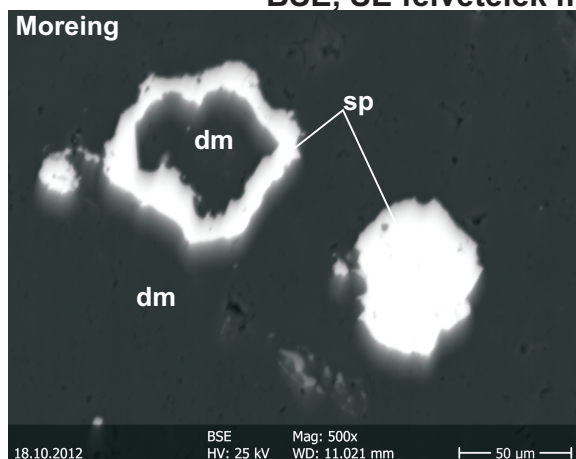
Fe = piros

Zn=sárga

ga-galenit, sp-szfalerit, ce-cerusszit, hm-hematit
py-pirit

5. Melléklet

BSE, SE felvételek mezicai és toplai mintákról



Jelmagyarázat: sp-szfalerit, ma-markazit, py-pirit, dm-dolomit