

Strasser Márton¹ – Pandur Anett²

Beszéljünk zöldségeket!

Avagy réztartalmú ásványok kutatása zöldpalában³

ABSZTRAKT

Kutatásomban egy nyugat-tanzániai zöldpalát vizsgáltam, hogy meghatározzam a jellegzetes zöld színét adó ásványfázisokat. A mintán a közetszövegtől már ránézésre jól elkülöníthető kisebb csoportokban kristályosodott ásványok vannak jelen, melyeknek három típusát lehet megkülönböztetni. Az első típus haragoszöld, a második mélykék, a harmadik pedig fekete kristályokat tartalmaz. Kutatásom során e három ásványcsoportra, illetve a közetszövet ásványaira helyeztem a hangsúlyt. A röntgendiffrakciós vizsgálatokhoz a három vizsgálandó területről készítettem elő mintákat. A röntgendiffrakciós képek kiértékelésekor rögtön látszott, hogy a kék ásványcsoport diffrakciós csúcsai szinte teljes egyezést mutatnak az azurit karakterisztikus csúcsaival. A zöld kristálycsoportban és a mátrixban legjellegzetesebben chamozit és kvarc csúcsai jelentek meg. Raman-spektroszkópia segítségével is vizsgáltuk az ásványcsoportokat. A vizsgálatok eredményeképp kiderült, hogy malachit, azurit és különféle mangánásványok a fő alkotók a csoportokban. A pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatok megerősítették a minta azurit-, malachit- és mangántartalmát. Összességében elmondható, hogy a mintában ugyan található rézásványok, jellegzetes zöld színét mégis a kloritcsoport ásványai adják. A réztartalma valószínűleg valamilyen fluidum réztartalmának kicsapódása során keletkezett.

Kulcsszavak: analitika, közettan, réz, Tanzánia, zöldpala

¹ Diák, Pécsi Tudományegyetem Gyakorló Általános Iskola és Gimnázium Babits Mihály Gimnáziuma, 7633 Pécs, Dr. Veress Endre u. 15., +36/30 368 0742, straszimarcil1@gmail.com

² Tanár, Pécsi Tudományegyetem Gyakorló Általános Iskola és Gimnázium Babits Mihály Gimnáziuma, 7633 Pécs, Dr. Veress Endre u. 15. pandanett@gmail.com

³ Szeretnék köszönetet nyilvánítani elsősorban felkészítő tanáromnak, Pandur Anettnek, aki elindított a kutatás útján és végig segített, támogatott. Szeretnék köszönetet mondani dr. Kovács János tanár úrnak a rengeteg szakmai segítségért, tanácsért, amit nyújtott, és azért, hogy bevezetett az ásványanalitika világába. Kiemelten köszönetet mondanék Justine Myovelának, aki a mintát hozta nekem Dodomából, és megmutatta a Raman-spektroszkópia alapjait. Továbbá köszönetet szeretnék mondani Miklósy Ákosnak, valamint dr. Szabó Péternek, akik a röntgendiffrakciós és a pásztázó elektronmikroszkópos mérések során nyújtottak hatalmas segítséget.

BEVEZETÉS

A réz már az őskortól kezdve végigkíséri az emberi civilizáció fejlődését, és kulcsszerepet játszik minden technológiai ugrásnál. A réz kalkofil elem, majdhogynem 150 ásvány kémiai alkotóeleme a földkéregben. Klark-értéke 25–55 g/t között változik (Rudnick & Gao, 2004). A réztartalmú kőzeteket már 0,7–1%-os réztartalomtól kitermelik (Schlesinger et al., 1976). Alacsony hőmérsékleten, főként az üledékes geofázisban migrációra hajlamos (Blundell et al., 2003). Legfontosabb tulajdonságai levezethetők annak periódusos rendszerben elfoglalt helyéből. Elektronszerkezetéből következik, hogy két különböző töltésű ionként is megtalálható a természetben. Relatív nagy elektronegativitásának köszönhetően ionos kötéseiben is erős a kovalens jelleg, illetve komplexképzésre is hajlamos. Mindezen tulajdonságokból kifolyólag az ásványok világának egy meghatározó eleméről beszélhetünk, amely több száz különböző szerkezetű és kémiai összetételű ásványt képes alkotni. A hétköznapjainkban a réz jó hő- és elektromosságvezető tulajdonságait használjuk ki, hiszen mind a mobiltelefonokban, mind a laptopokban, háztartási gépekben és az ezek legyártásához szükséges gyártósorokban ott van a réz. Ahogy a világban nő a felhasznált modern eszközök száma, úgy nő a világ rézigénye is, és ezt a növekvő rézigényt – annak ellenére, hogy egy minőségromlás nélkül újrahasznosítható fémről beszélünk (Ogawa et al., 2017) – lehetetlen csupán újrahasznosításból fedezni. Cikkemmel szeretném felhívni a figyelmet arra, hogy a réz kutatása, a rézmigrációs folyamatok megértése rendkívül fontos szerepet játszik az újabb rézlelőhelyek felfedezésében, így közvetetten nagy hatást gyakorolhat a mindennapjainkra is.

Az Ubendi orogenezis⁴ által érintett régió kutatása már régóta foglalkoztatja a Dodomai Egyetem kutatóit. Kiemelten a nyugat-tanzániai Chimala-régió magas metamorf fokú, paleoproterozoikumi kőzeteinek kutatásával, a Tanzán-ősföld, illetve az Ubendi-öv kőzeteinek vizsgálataival foglalkoznak az egyetem geológusai, ezzel kapcsolatban több tanulmányt is publikáltak (pl.: Cahen et al., 1984; Muhongo et al., 2002). Az Ubendi-öv kutatása közben a felszínhez közelebb lévő, az öv magas metamorf fokú kőzeteire települő kőzetek is feltárássra kerültek, és így irányult a kutatók figyelmé változatos ásványvilága miatt a Buanji kőzetcsoporra, mely egy enyhe palásodáson átessett üledékes kőzetréteg. Az üledék lerakódása a későpaleoproterozoikumra datálható, az Ubendi orogenezis utánra (Manya, 2013). A Buanji kőzetcsoport az Ubendi-orogenezis során keletkezett gabbrókon, anortozitokon, magas metamorf fokú kőzeteiken és gránitos intruzív kőzetekre települ, melyek 1,8–2 milliárd évre datálhatóak (Lenoir et al., 1994). Maga a kőzetcsoport főként homokkőből, konglomerátumokból, barna és zöldpalából, dolomitból és különböző aleurolitokból áll (Thomas et al., 2019). A Buanji-csoport nagyrészt üledékes kőzeteit alsó, középső és felső szakaszokra osztják, amelyek maximális vastagsága körülbelül 245, 366, illetve 457 méter (Harpum & Brown, 1958). Az alsó szakasz fő kőzetei a különböző konglomerátumok, melyek a magas metamorf fokú alapkőzetekről leszakadt darabokat, achát és jáspis kavicsokat kötötték meg, illetve már itt is megjelenik a vöröses pala, mely az egész kőzetcsoporra igen jellemző, helyenként kvarcitos homokkővel. A középső szakasz főként barna és zöldpalából áll, a felsőbb rétegeiben dolomitos konglomerátum található, valamint néhol beé-

⁴ Az Ubendi orogenezis a tanzán ősföld és a kongói ősföld között elhelyezkedő, északnyugat, délkelet irányban húzódó Ubendi–Usagaran-öv kialakulásának első fázisa volt körülbelül 2,1–1,9 milliárd évvel ezelőtt (Lenoir et al., 1994)..

kelődő aleurolit formációk és kvarcitos homokkő van jelen. A zöldpala-sáv szinte a teljes szakaszon végighúzódik különösebb beékelődés nélkül. A kőzetcsoport felső szakasza nagyrészt szürke palából, dolomitból áll, néhol beékelődő agyagkő és homokkő van jelen (Thomas et al., 2019). A Buanji-csoport felső határát a felső-proterozoikumi andezitréteg képezi. Ez az andezit 1674 ± 15 millió éve képződhetett a Chaufukwe-hegység vulkanikus működései során (Manya, 2013). Kutatásom a Buanji-csoport középső szakaszának zöldpalájára irányul. 2021-ben a Dodomai Egyetem Geológia Tanszékének kutatócsoportja Almachius Mutasingwa vezetésével geokémiai szempontból vizsgálta a Buanji-csoport középső szakaszának zöldpalarétegét, és megmérte a minta pszeudomalachit $[\text{Cu}_5(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_4]$ tartalmát, erre visszavezetve a minta zöld színét. Ennek a hipotézisnek egy elemanalitikai vizsgálat adott alapot, amely alapján a megállapított réz- és foszfortartalomról visszaszámolva valóban nagy mennyiségű pszeudomalachit található a kőzetben. A szerző ekkor a mintát az európai országokban fellelhető Kupferschiefer nevű zöldpalaréteghez hasonlította, a geológiai környezet és a réztartalom alapján. A térségben élő őslakosság korábban folytatott rézbányászatot a területen, de mára felhagytak vele, ugyanis ma már nem nyerhető ki gazdaságosan réz a kőzetből (Mutasingwa et al., 2021).

A kutatásomban egy, a Buanji-csoport középső szakaszának zöldpalarétegéből származó mintát vettem alá különböző ásványtani és geokémiai vizsgálatoknak azzal a céllal, hogy a minta karakterisztikus ásványait meghatározzam, valamint, hogy a mintát műrevalóság szempontjából értékeljem. Ezen túl személyes célom volt, hogy a különböző analitikai módszerekkel megismerkedjek, ezeket a gyakorlatban is kipróbáljam.

MÓDSZEREK

Röntgendiffrakciós vizsgálat

1909-ben Max von Laue volt az első fizikus, aki először fogalmazta meg azt a hipotézist, hogy a röntgensugárzás hullámhossza elég kicsi lehet ahhoz, hogy a kristályok rácspontjai között lévő réseken átmenve elhajlást szenvedjen, és ezáltal – akár csak az optikai rácson átvezetett látható fény esetén – egy távoli ernyőn meghatározható helyeken maximális erősítési helyeket és maximális kioltási helyeket tapasztalunk (Simonyi, 1986). Max hipotézisének bizonyítására két kísérleti fizikus, Paul Knipping és Walter Friedrich megtervezte és elvégezte a kísérletet, mely során egy réz-szulfát kristályon vezették át a röntgensugarakat (Simonyi, 1986). A kísérlet sikeresnek mutatkozott, észlelhető volt az interferencia, tehát az elhajlásnak meg kellett történnie (Galbács et al., 2012b). Így bizonyították először a röntgensugárzás hullámtermészetét, amiért Max von Laue 1914-ben meg is kapta a fizikai Nobel-díjat (Simonyi, 1986). Egy évvel később szintén Nobel-díjban részesült William Henry Bragg és fia, William Lawrence Bragg, akik továbbfejlesztve Laue kísérletét letették a röntgenkristallográfia alapjait. A kristályrács alapvetően rácspontokból és a közöttük lévő távolságokból áll. Ezek a távolságok az egyes ásványfajtákra karakterisztikus értékek, ezért kristálytani állandónak nevezzük őket (Koch et al., 1955). A szabályos kristályrácsokról visszaverődő röntgensugárzáson maximális erősítés csak bizonyos beesési szögek esetén tapasztalható (Galbács

et al., 2012b). A maximális erősítés geometriai feltételeit határozta meg William Henry Bragg és William Lawrence Bragg, ezt nevezzük Bragg-egyenletnek. A Bragg-egyenlet alapján látható, hogy amennyiben a röntgensugárzás hullámhossza és a beesési szög ismert, valamint megmérjük, mely beesési szögek esetén tapasztalunk maximális erősítést a visszaverődő fénynyalámban, kiszámolható a rácsállandó, mely alapján azonosítható a kristály, amelyen a röntgensugárzást átvezették (Gubicza & Zsoldos, 2010). Ezen a kísérleti elrendezésen alapulnak a modern röntgendiffrakciós műszerek is. A műszer a helyezett porított mintát 0–90 fokos beesési szögek mentén végigméri és folyamatosan vizsgálja a visszaverődő fény intenzitását. Eredményként egy grafikont kapunk, mely a beesési szög függvényében ábrázolja az intenzitást. Az erősítési helyeken, vagyis azoknál a beesési szögeknél, amelyekre a Bragg-egyenlet érvényes, az intenzitás hirtelen megnövekedését tapasztaljuk (Cora, 2013). Ezeket a grafikonon látható hirtelen intenzitásnövekedéseket diffrakciós csúcsoknak nevezzük, melyek az egyes ásványcsoportokra karakterisztikusak (Galbács et al., 2012b). A mérési eredményünket számos geológiai adatbázis segítségével elemezhetjük, és összehasonlítva referenciamérésekkel a grafikonok egybevághatósága alapján megállapítható a vizsgált ásvány mibenléte (Galbács et al., 2012a).

Pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálat

A hagyományos, optikai mikroszkópok működési elve igen egyszerű. A vizsgált mintára fotonokat bocsájtok, az onnan visszaverődő fotonoknak az útját pedig módosítjuk optikai lencsék segítségével. Az útmódosításnak köszönhetően a nagyon kicsi tárgyakról visszaverődő fotonok útjának átmérője akkorára növelhető, hogy a fotonokat detektáló műszer (a szemünk) fel tudja fogni őket (Feynman et al., 1985). Az elektronmikroszkóp működési elve ehhez nagyon hasonló, a különbséget csupán az adja, hogy fotonok helyett elektronokat bocsájtok a vizsgálandó mintára, és a visszaverődő elektronok útját módosítjuk. Az elektronok útja – elektromosan töltött részecskék lévén – a Lorentz-erő kihasználásával mágneses tér segítségével történhet leghatékonyabban. A mágneses lencsék nagy előnye az üvegből készült lencsékhez képest, hogy a mágneses lencsék az információ elvesztése (a képminőség romlása) nélkül képesek az elektronok útjának módosítására és ezáltal a vizsgált minta képének felnagyítására (Havancsák & Dankházi, 2010). Az elektronmikroszkóp további előnye a hagyományos mikroszkóppal szemben, hogy nem csak felületi információt nyerhetünk a vizsgálandó mintáról, hanem a minta elemi összetételéről is kaphatunk adatokat (Havancsák & Dankházi, 2010). Ennek oka, hogy az elektron az anyagról nem csupán visszaverődik, de a visszaverődés közben kölcsönhatásba is lép azzal.

Az elektron kétféleképpen ütközhet a minta atomjaival. Rugalmatlan ütközésnek nevezzük azt az esetet, amikor a beérkező, nagy energiájú elektron nekiütközik az atom egy belső héján lévő elektronjának, és onnan kilöki az adott elektront, majd ő maga is tovább repül. Ennek az ütközésnek a hatására az atom egy belső elektronhéján megüresedik egy elektronpálya, amely egy alacsonyabb energiájú pálya, mint a külsőbb héjakon lévők, így egy, a külső héjon lévő elektron a saját, magasabb energiájú elektronpályájáról a felszabadult, alacsonyabb energiájú pályára fog ugrani. Az energiatöbbletét, ami már nem szükséges az elektronnak, hogy új pályáján maradhasson, röntgensugárzás formájában adja

le. Annak a röntgensugárzásnak a hullámhossza, ami a különböző atomok különböző pályán lévő elektronjainak az alacsonyabb pályára ugrásakor keletkezik, minden atom minden elektronpályájára karakterisztikus érték, így a műszer detektorába beérkező röntgensugarak hullámhossza alapján ki lehet értékelni az egyes területeket elemsűrűség, illetve elemösszetétel szempontjából. Kristálytani szempontból ez is értékes információkat hordozhat (Szakács, 2008). Az elektron–atom kölcsönhatásának másik fajtája a rugalmas ütközés. Ennek során az elektron visszaverődése úgy zajlik, hogy az elektron behatol az atom elektronfelhőjébe, és a mag vonzó hatása miatt azt megkerüli. Akárcsak a hintamanőver esetén az űrszondák bolygók körüli keringése, úgy az elektron atommag körüli keringése – legalábbis a félkör leírása – többletsebességet, többletenergiát jelent. Ez a többletenergia annál nagyobb, minél nagyobb a mag tömege, illetve töltése, mely értékek a rendszám növekedésével nőnek. Tehát a minta felületét pásztázva láthatjuk, hogy mekkora tömegű atomok a dominánsak a minta egyes részein. A pásztázó elektronmikroszkóp segítségével tehát nem csak a kristályok alakjait, de azok elemi összetételét is vizsgálhatjuk a minta különböző pontjain, mindezt a minta roncsolása nélkül (Havancsák & Dankházi, 2010).

Raman-spektroszkópiás vizsgálat

Chandrasekhara Venkata Raman indiai fizikus és matematikus 1930-ban lett az első ázsiai ember, aki megkapta a Nobel-díjat. A fizikai Nobel-díját a róla elnevezett Raman-eltolódás felfedezéséért és az arra adott magyarázatáért kapta (Simonyi, 1986). A felfedezésének lényege az volt, hogy ha bizonyos anyagokat monokromatikus, ismert frekvenciájú vörös vagy infravörös fényvel világítunk meg, akkor a visszaérkező sugárban nem csak az eredeti frekvenciájú fény lesz megtalálható, hanem nagyon kis mértékben ugyan, de kimutatható lesz a besugárzási fényénél nagyobb és kisebb frekvenciájú fény is (Galbács et al., 2012b). Raman a jelenséget azzal magyarázta, hogy az anyagba ütköző foton energiájának egy része gerjeszti az adott molekula rezgési és forgási módusait. A molekulák atomokból és a köztük lévő kötésekből állnak. Ezek a molekulák azonban nem egy helyben állnak, hanem folyamatos mozgásban, forgásban vannak. Az atomok helyzete a kötések mentén vagy egymáshoz képest változhat periodikusan, rezgésszerűen. Ezeknek a rezgésszerű mozgásoknak a paraméterei molekulacsoportonként eltérőek, arra karakterisztikusak. A rezgések a gerjesztési energiája is különböző lesz, tehát a kölcsönható fotonok más mennyiségű energiát adnak le vagy éppen vesznek fel (Galbács et al., 2012b). Ennek következtében annak a vizsgálatára, hogy a beeső fény frekvenciájától eltérő frekvenciájú fotonok mekkora intenzitással vannak jelen a visszaverődő fénysugárban, illetve annak a vizsgálatára, hogy ezeknek a fotonoknak mekkora a Raman-eltolódása (az eredeti fény frekvenciájának és az ő frekvenciájuknak a különbsége cm^{-1} -ben kifejezve), értékes információkat adhat a vizsgált minta molekuláris összetételéről (Buzgar & Apopei, 2009).

A módszer nagy előnye, hogy teljesen roncsolásmentes, és a minta molekuláris összetétele, illetve a minta jellemző molekuláinak a funkciós csoportjai nagy biztonsággal megállapíthatók, melyből már az minta fő komponensei meghatározhatók. Hátránya, hogy méréskor sok zavaró tényező állhat fenn, például a fluoreszcencia, mely bizonyos anyagok esetén az eredmények hasz-

nálhatatlanságához vezetnek, mivel a fotonok energiája ilyenkor nem csupán a molekulák rezgési, forgási móduszainak gerjesztésére, hanem a fluoreszcencia gerjesztésére is fordítódik (Buzgar & Apopei, 2009). A Raman-spektroszkópiát a földtudományokban elsősorban folyadékok, zárványok komponenseinek meghatározására alkalmazzák, de ha szeretnénk elkerülni a minta roncsolását, jó alternatíva lehet a röntgendiffrakciós vizsgálatokra is (Cora, 2013). Ideális kiegészítő vizsgálatként is, hiszen a röntgendiffrakció alapvetően a kristály fizikai, kristálytani tulajdonságait vizsgálja, míg a Raman-spektroszkópia a kristály kémiai összetételéről ad információt.

EREDMÉNYEK

Makroszkopikus vizsgálatok

A minta vizsgálatát a makroszkopikus vizsgálatokkal kezdtem meg. Szabad szemmel is látható volt a minta palás jellege. A felszínén háromféle ásványcsoportosulás volt elkülöníthető a mátrixtól, a későbbiekben ezeket 1., 2., 3. típusúként fogom megnevezni. Az 1. típusú ásványcsoport ásványai mélykék színűek, mindegyik csoportot egy fehér koszorú veszi körül. A 2. típusú ásványcsoport ásványai haragoszöldek, a mátrixtól jól elkülönülnek. A 3. típusú ásványcsoportból találtam a legkevesebbet, de ezek voltak a legnagyobb kiterjedésűek. Közös még bennük, hogy színük fekete. A mátrix zöld színű, de árnyalata a 2. típusú ásványcsoport színénél halványabb, szürkésebb.

Röntgendiffrakciós vizsgálatok eredményei

Mindhárom mintavételi pontról gyűjtött mintát alávettem röntgendiffrakciós vizsgálatnak. Egy minta az 1. típusú ásványcsoportból, egy minta egy 2. típusú ásványcsoportból, egy pedig a mátrixból lett véve. A vizsgálataimat a Pécsi Tudományegyetem Szentágothai János Kutatóközpontjában végeztem egy Rigaku Miniflex 600-as műszerrel. A gyűjtött anyagok kiértékelését pedig a Profex 5.2.-es programmal, illetve a RRUFF⁵-adatbázis segítségével végeztem.

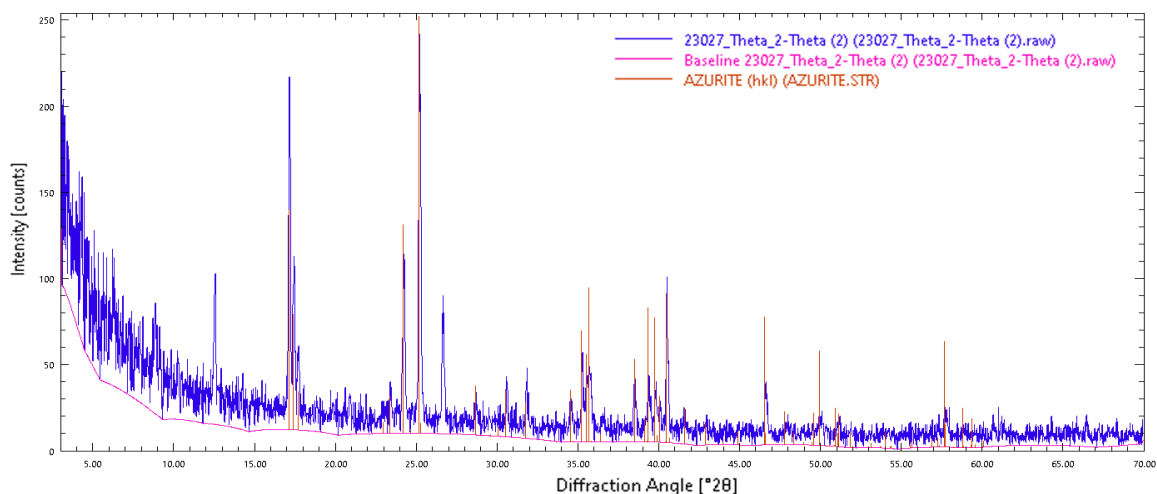
Az első ásványcsoport mintájának képén számos diffrakciócsúcsot láthatunk, ezek közül kettő volt kiemelkedően nagy intenzitású, ezek 17,5, illetve 25,1° 2theta szögeknél voltak láthatóak, és teljes egybeesést mutatnak az azurit [Cu₃(CO₃)₂(OH)₂] karakterisztikus értékeivel (1. ábra). A mérés eredményeit a RRUFF-adatbázis referencia diffraktoagramjával összehasonlítva a diffrakciós csúcsok tekintetében szinte teljes az egyezés. A 2. ásványcsoport-típus mintájának diagramja már kevésbé volt egyértelmű. Egyetlen diffrakciós csúcs volt karakterisztikus, a 26,9° 2theta szögénél.

A referenciaértékek és adatbázisok alapján ez a diffrakciós csúcs a kvarcnak [SiO₂] megfeleltethető. Ezen kívül malachit [Cu₂(CO₃)(OH)₂] és chamozit [(Fe²⁺,Mg)₅Al(AlSi₃O₁₀)(OH)₈] ásvány jellemző diffrakciós csúcsait véltem felfedezni a mintában. A bizonytalanság oka a későbbi vizsgálatok fényé-

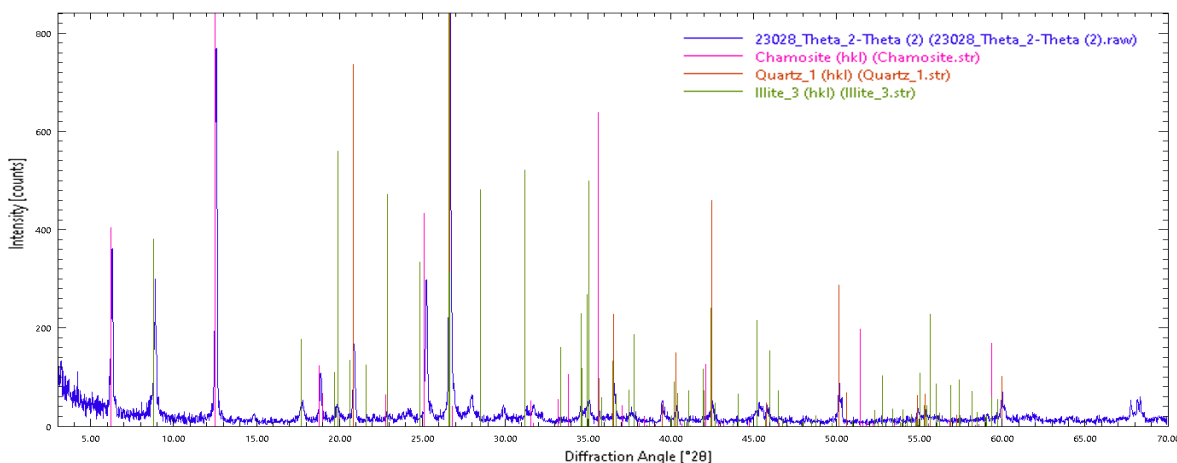
⁵ A RRUFF-adatbázis egy az Arizonai Egyetem által indított kezdeményezés, melyhez a világ több egyeteme csatlakozott elindulása óta. A geológusok kémiailag tiszta ásványok mérési adatait teszik közzé itt, hogy bárki hozzáférhessen, mint referenciaérték. Bárki küldhet be mérési adatokat, az Arizonai Egyetem munkatársai ellenőrzik az adatok hitelességét és közzéteszik.

ben valószínűsíthetően a minta rossz preparációja volt. Valószínűleg a minta leválasztásakor a 2. típusú ásványcsoport ásványain kívül a mátrix ásványai is bekerültek a porított anyagba, így került a malachit jeleinél sokkal intenzívebben mutató kvarc, illetve chamozit a vizsgált mintába. A mátrixból vett minta vizsgálata ennél sikeresebb volt (2. ábra). A kvarc jelenléte vitathatatlan. Ezen minta diffraktogramjában is fellelhető a $26,9^\circ$ 2theta, és ami a minta érdekességét adja, az a 15° fok alatt megjelent három diffrakciós csúcs. Ezek biztosan agyagásványokhoz, (illitcsoport), és nagy valószínűséggel chamozithoz tartozhatnak.

1. ábra: Az 1. típusú ásványcsoportból vett minta röntgen diffraktodiagramja



2. ábra: A mátrix XRD-diagramja

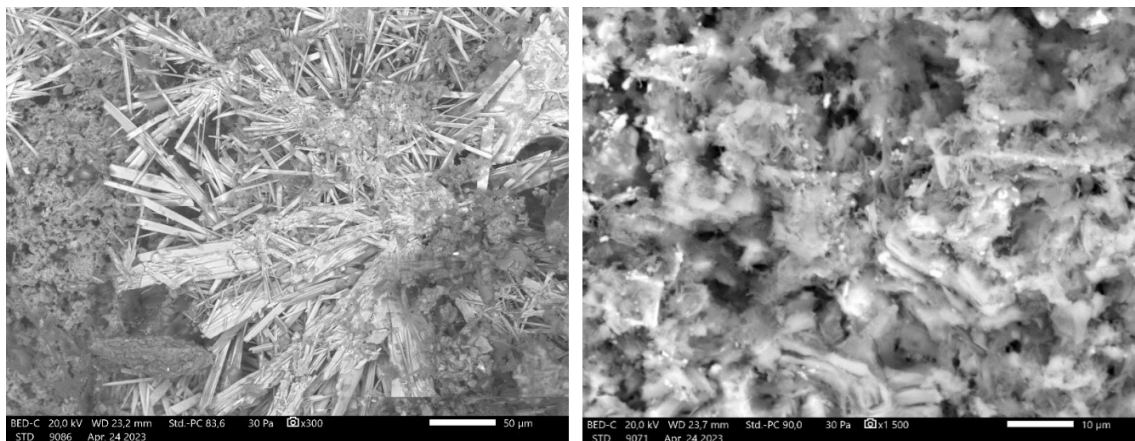


Pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatok eredményei

A pásztázó elektronmikroszkópos felületi vizsgálatok két fontos objektum megtalálását eredményezték. A 3. ábrán látható tűs formációkat az első ásványcsoport területén találtuk, így joggal feltételezzük, hogy azurit-tűkről van szó. Ezt megerősítette a terület elemiösszetétel-vizsgálata, mely az azuritnak megegyező arányokban mutatta ki réz-, oxigén-, hidrogén- és szénatomok jelenlétét. Kristallográfiai szempontból az azuritra jellemző a tűs megjelenési forma, a nyúlt, kissé lapos kristályok. A 4. ábrán

látható kép a mátrix vizsgálata közben készült. A táblás, hatszögös szerkezetek megjelenése az illit-csoport valamely agyagásványára engednek következtetni, alátámasztva ezzel a röntgendiffrakciós vizsgálatok eredményeit.

3–4. ábra: Tűs formációk az 1. ásványcsoport SEM-felvételén (3), illetve illites formációk SEM-képe a mátrixban (4)



Ezeket túl a minta több pontján futtattunk elemösszetétel-vizsgálatot, így felfedezve a mintában egyéb ritkaföldfémek jelenlétét, és kimutatva a 3. ásványcsoport jelentős mangántartalmát. A mangánon kívül jelentős báriumtartalom is kimutatható volt a 3. ásványcsoport területén és a mátrixban (5. ábra). A baritatomokkal azonos helyen különösen nagy kénatom-koncentrációra lettünk figyelmesek. A kén-, oxigén- és báriumatomok atomarányából való visszaszámolás arra enged következtetni, hogy a kérdéses területen barit (BaSO_4) ásvány található meg. A barit megjelenése nem ritka mangánásványokkal teli környezetben, azonban ezek pontos beazonosítása további vizsgálatokat kívánt. A bárium- és mangántartalom mellett a minta egészén elszórva lehetett találni titán- és vanádiumatom-foltokat, ezek mennyisége azonban igen csekély volt, további méréseket ezek felderítésére nem eszközöltünk. Valószínűleg olyan kicsi ásványokról van szó, olyan kis mennyiségben, hogy sem röntgendiffrakcióval, sem Raman-spektroszkópiával nem voltak kimutathatók, ezért nem észleltük őket a többi mérési eredményben.

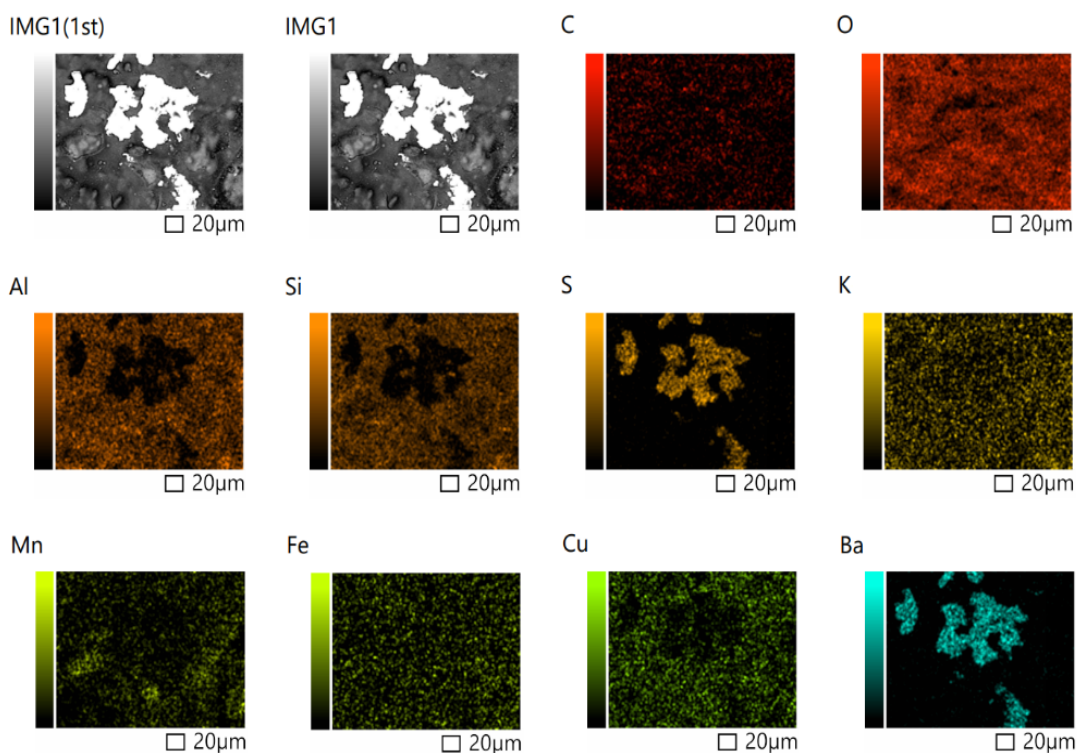
A pásztázó elektronmikroszkóppal folytatott vizsgálatokat is a Pécsi Tudományegyetem Szentágot-hai János Kutatóközpontjában végeztem, egy Jeol JSM-IT500HR eszközzel, az adatok kiértékelését pedig az eszköz beépített szoftverének segítségével végeztem.

Raman-spektroszkópiás vizsgálatok eredményei

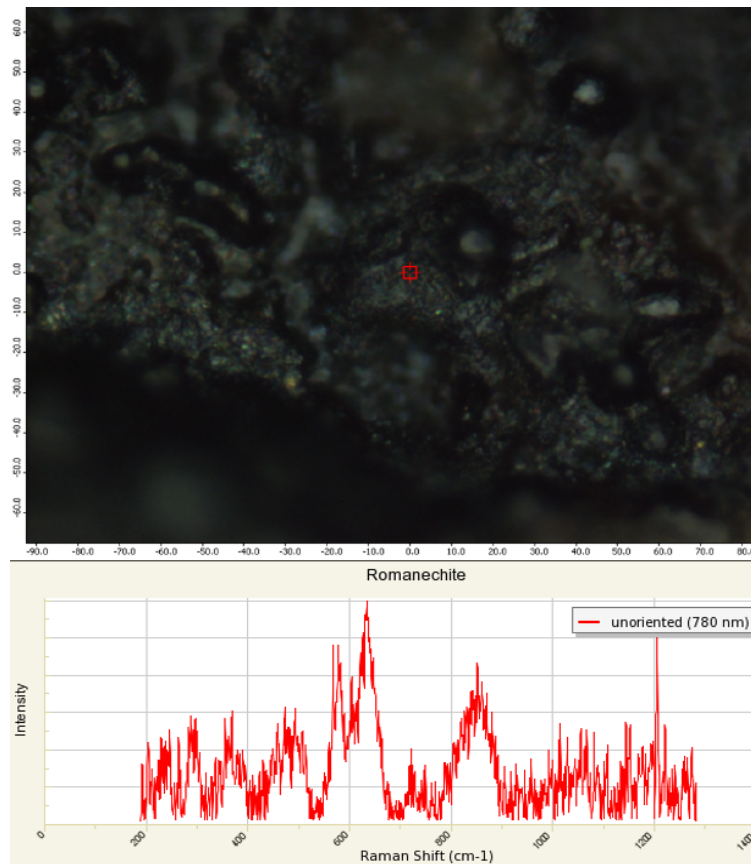
A Raman-spektroszkóppal végzett vizsgálatok részben alátámasztották a már meglévő eredményeket. Az 1. típusú ásványcsoport által mutatott Raman-eltolódás spektrum szinte teljesen egybevágó a RRUFF-adatbázisban lévő, azurit által mutatott referenciaspektrummal, így a röntgendiffrakciós vizsgálat eredményeit támasztja alá a Raman spektroszkópiával végzett mérés is. Mindezek igazolják azt a hipotézist is, hogy a pásztázó elektronmikroszkóppal fotózott tű alakú kristályformáción valóban azurit kristályokat láthatunk. A 2. típusú ásványcsoport ásványait a Raman-spektroszkóppal

lehetőségem volt viszonylag közelről vizsgálni, elkerülve a nem ehhez az ásványcsoporthoz tartozó környező ásványok vizsgált mintába való belekerülését. Így kimérhető volt a 2. típusú ásványcsoportok több pontján, hogy a Raman-spektruma a RRUFF-adatbázisban lévő malachit által mutatott referenciadiaspektrummal egybevágó. Raman-spektroszkóppal azt szeretnénk volna meghatározni, hogy milyen ásvány okozza a 3. ásványcsoport fekete színét, illetve mangántartalmát. A mérés azonban nem mutat szép Raman-csúcsokat, az egész spektrum hullámos képet ábrázol. Ez a mérési hiba a fluoreszcencia jelenlétét indikálja a mintában. Többszöri mérés és korrelációk után sikerült két Raman-csúcsot megtalálnunk, mely igen halványan, de minden mérési spektrumban jelen voltak. Egyikük 580 cm^{-1} , másikuk 650 cm^{-1} körüli Raman-eltolódásnál jelent meg mérésről mérésre (6. ábra), ezek az értékek pedig a romanechit nevű mangánásvány karakterisztikus értékei. A romanechit $[(\text{Ba},\text{H}_2\text{O})_2(\text{Mn}^{4+},\text{Mn}^{3+})_5\text{O}_{10}]$ jelenléte a pásztázó elektronmikroszkóp által mért báriumtartalmat is magyarázná, de teljes egyezés nem mondható ki a Raman-spektroszkópiás vizsgálat alapján. A legvalószínűbb magyarázat az, hogy a 3. ásványcsoport sok, egymástól alig különböző mangánásvány csoportja, ezért sem tudjuk összehasonlítani az általunk mért eredményeket egy specifikus ásvány referenciaértékeivel, hiszen több mangánásvány karakterisztikus csúcsa figyelhető meg egy mérésben. A 6. ábrán jól megfigyelhető a mangánásványokra jellemző fürtös-vesés megjelenés, a referenciaspektrumon pedig látható, hogy a fentebb említett értékek valóban megállják helyüket. A mátrix Raman-spektroszkópiás mérésében szintén hatalmas volt a fluoreszcencia miatti szennyezés, egyedül a kvarc karakterisztikus Raman-csúcsa volt jól kivehető. A Raman-spektroszkópiás vizsgálatokat szintén a Pécsi Tudományegyetem Szentágothai János Kutatóközpontjában végeztem a Thermo Fisher DXR3 Raman Microscope-al, a kiértékelést pedig az OMNIC3-programmal végeztem.

5. ábra: Báriumásvány elemi összetétel-vizsgálata a mátrixban



6. ábra: A 3. ásványcsoport mikroszkópos képe, a romanechite referenciagrafikonja



KÖVETKEZTETÉSEK

A különböző vizsgálatok eredményeit összevetve biztosan elmondható, hogy az 1. ásványcsoport-típus fő alkotóásványa az azurit, a 2. ásványcsoport-típus fő alkotóásványa a malachit. A mátrix zöld színét elsősorban a chamozit nevű (kloritcsoport) ásványa adja, a teljes minta zöld színéhez pedig a csoportos malachitkiválások is hozzájárulnak. A rézkiválás nem kifejlett rézérctelep jele, hiszen sem az én mintámban, sem a Buanji-csoport más területén a réz más, rézben dúsabb ásványai nem voltak megtalálhatóak (Mutasingwa et al., 2021). A malachit és az azurit a rézérctelepek az oxidatív zónájában keletkeznek, így önmagukban nem jelentenek rézlelőhelyet (Kiss, 1982). A legvalószínűbb magyarázat a réz jelenlétére a Buanji-csoport középső szakaszának zöldpalarétegében az, hogy valamilyen rézmigrációs folyamat során réztartalmú fluidum érkezett az éppen formálódó üledékbe, és a rézionok kiváltak a formálódó kőzet bizonyos pontjain. Rézércbányászati szempontból a minta nem műrevaló, ezt bizonyítja, hogy a réz csak azurit, illetve malachit formájában található meg benne, amelyekben a réz eleve kis tömegszázalékban van jelen. Mindezen felül ez a két, rézet eleve kis tömegszázalékban tartalmazó ásvány is csak igen kis százalékban van jelen a kőzet össztömegében. Nem csak az én mintám mutatott rézre nézve hasonló adatokat, Mutasingwa csoportja által vizsgált minták száma elég nagy ahhoz, hogy a kőzetreteg nézve általános konklúzióként levonható legyen az átlagos réztartalom.

IRODALOMJEGYZÉK

- Blundell, D. J., Karnowski, P., Alderton, D. H. M., Oszczepalski, S., & Kucha H. (2003). Copper mineralization of the Polish Kupferschiefer: A proposed basement fault-fracture system of fluid flow. *Economic Geology*, 98(7), 1487–1495.
- Buzgar, N., & Apopei, A. I. (2009). *The Raman study of certain carbonates. Analele Științifice Ale Universității „Al. I. Cuza” Iași*, 55(2), 97–112.
- Cahen, L. Snelling, N. J., Delhal, J., & Vail, J. R. (1984). *The Geology of Africa: The Geochronology and Evolution of Africa*. Oxford University Press.
- Cora, I. (2013). *Ásványok ésszerveetlen kristályok szerkezetvizsgálata*. Eötvös Loránd Tudományegyetem.
- Feynman, R. P., Leighton, R. B., & Sands, M. (1985). *Mai fizika*. Műszaki Könyvkiadó.
- Galbács, G., Galbács, Z., & Sipos, P. (2012a). *Műszeres analitikai kémiai laboratóriumi gyakorlatok*. Szegedi Tudományegyetem.
- Galbács, G., Illisz, I., Felinger, A., & Csóka, B. (2012b). *Illusztrált segédanyag a modern műszeres analitikai kémia oktatásához*. Szegedi Tudományegyetem – Pécsi Tudományegyetem.
- Gubicza, J., & Zsoldos, L. (2010). *Röntgendiffrakció*. Eötvös Loránd Tudományegyetem.
- Harpum, J. R., & Brown, P. E. (1958). Geology of Chimala. Quarter Degree Sheet 246. *Geological Survey of Tanganyika*.
- Havancsák, K., & Dankházi, Z. (2010). *Páasztázó elektronmikroszkóp*. Eötvös Loránd Tudományegyetem.
- Kiss, J. (1982). *Érc teleptan I–II*. Tankönyvkiadó.
- Koch, S., Sztrókay, K. I., & Grassely, Gy. (1955). *Ásványtan I–II*. Tankönyvkiadó.
- Lenoir, J-L., Liégois, J-P., Theunissen, K., & Klerkx, J. (1994). The Palaeoproterozoic Ubendian Shear Belt in Tanzania: Geochronology and Structure. *Journal of African Earth Sciences*, 19(3), 169–184.
- Manya, S. (2013). Geochemistry and U–Pb zircon dating of the high-K calc-alkaline basaltic andesitic lavas from the Buanji Group, south-western Tanzania. *Journal of African Earth Sciences*, 86, 107–118. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2013.06.011>
- Msanya, M., Munishi, A., Amuri, N., & Malley, Z. (2016). Morphology, Genesis, Physico-chemical Properties, Classification and Potential of Soils Derived from Volcanic Parent Materials in Selected Districts of Mbeya Region, Tanzania. *International Journal of Plant and Soil Science*, 10(4), 185–197.
- Muhongo, S., Tuisku, P., Mnali, S., Temu, E., Appel, P., & Stendal, H. (2002). High-pressure granulite-facies metagabbros in the Ubendian Belt of SW Tanzania: preliminary petrography and P–T estimates. *Journal of African Earth Sciences*, 34(3–4), 279–285, [https://doi.org/10.1016/S0899-5362\(02\)00026-X](https://doi.org/10.1016/S0899-5362(02)00026-X)
- Mutasingwa, A., Msabi, M., Jackson, N., & Jagarlamudi, S. (2011). Mineralogy and Geochemistry of Shale-Hosted Copper of the Middle Buanji Group, Chimala Area, South-Western Tanzania. *Journal of Science*, 47(1), 378–389.

- Ogawa, M., Kato, M., Majima, M., Awazu, T., Yata, H., & Ooe, M. (2017). Copper Recycling Technique Using Electrochemical Process. *Sei Technical Review*, 84(2), 93–96.
- Rudnick, R. L., & Gao, S. (2004). Composition of the continental crust. *Treatise on Geochemistry*, 3, 1–65.
- Schlesinger, M. E., King, M. J., & Davenport, W. G. (1976). *Extractive Metallurgy of Copper*. Pergamon Press.
- Simonyi, K. (1986). *A fizika kultúrtörténete*. Akadémiai Kiadó.
- Szakács, S. (2008). *Geokémia*. EMTE – KPI Kiadó.
- Szakáll, S. (2011). *Ásvány és kőzettan alapjai*. Miskolci Egyetem Műszaki és Földtudományi Kar.
- Thomas, R. J., Jacobs, J., Elburg, M. A., Mruma, A., Kamihanda, G., Kankila, A., Masanja, A., & Saidi, H. (2019). New U-Pb-Hf zircon isotope data for the Paleoproterozoic Ubendian belt in the Chimala area. *Geoscience Frontiers*, 10(6), 1993–2006.

*Ez a mű a Creative Commons Nevezd meg! – Ne add el! – Ne változtasd! 4.0 nemzetközi licen-
ce-feltételeinek megfelelően felhasználható. (CC BY-NC-ND 4.0)*

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

*This open access article may be used under the international license terms of Creative Commons
Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0)*

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

