

Ásványtan, kőzettan és geokémia: a hazai kutatás helyzetképe

PANTÓ György¹ – ÁRKAI Péter¹

Egy átfogó áttekintés a hazai ásványtani, kőzettani és geokémiai alap kutatás jelenlegi helyzetéről – összehasonlítva azt a világ különböző részein folyó, vezető kutatási irányokkal; mérlegelve, hogy mit értünk el, mely területeken vannak lényeges pótlandók, lemaradások – a rendelkezésre álló rövid idő alatt reménytelen feladat. Az MTA Geokémiai és Ásvány-Kőzettani Tudományos Bizottság tagjainak közreműködésével itt csupán arra vállalkozhatunk, hogy fellitantsunk néhány, fontosnak vélt eredményt, kutatási irányt, utalva ezek nemzetközi jelentőségére.

Elképzelhetetlen az is – bár nem tartozik szorosan előadásunk témájához – hogy egy ilyen, a Társulat jubileumához kapcsolódó áttekintésnél ne idézzük fel nagy elődeink: KRENNER József, SZABÓ József, MAURITZ Béla, a VENDL család tagjai, KOCH Sándor, SZÁDECKZY-KARDOSS Elemér, SZTRÓKAY Kálmán Imre, GRASSELY Gyula és még mások emlékét. E nagy kaliberű, iskolateremtő tudósok tevékenysége döntő mértékben meghatározta tudományterületünk fejlődését, és a jelen, sok tekintetben pozitív helyzet kialakulását.

Az **ásványtani kutatások** terén jelenleg erős differenciáció, korábban nem tapasztalt fejlődés figyelhető meg. Ez egyrészt a vizsgálati módszerek fejlődésével (elektron mikroszkópia, elektron mikroszonda, izotóp tömegspektrometria, ICP-MS stb.), egyre szélesebb körű alkalmazásával, másrészt, a kutatási irányok szükségleteket rugalmasan követő változtatásával magyarázható.

Az ércásványtan területén tovább folytatódott a hazai, főként a szulfidos ércesedések ásványtani vizsgálata, lezárult a hazai mangán-ércesedések komplex jellemzése és jelentős eredmények születtek a bauxit fő és akcesszórius ásványainak kutatása terén.

A magmás, a metamorf és az üledékes kőzeteket alkotó fő fázisok sajátosságait a kőzetkeletkezés fizikai és kémiai körülményeinek meghatározására széles körben alkalmazzuk. Mind az alap- mind az alkalmazott kutatás szempontjából fontos irányt jelent a járulékos ásványok vizsgálata és ezek genetikai célú értékelése, amely során számos új ásvány leírására került sor.

Az ásványtani kutatásokban mindig is sajátos helyett töltött be a rétegszilvikátok, ezeken belül is az agyagásványok komplex: röntgendiffrakciós, termikus, kémiai, stb. vizsgálata. Míg korábban az agyagásványok külső körülményekre

¹ MTA Földtudományi Kutatóközpont Geokémiai Kutatólaboratóriuma, H-1112 Budapest, Budaörsi út 45.

igen érzékenyen reagáló, változatos sajátosságait elsősorban az üledékes és a kezdeti metamorf kőzetképződés, a mállási folyamatok és az ércesedések (pl. bauxit) kérdéseinek megoldásához használtuk fel, ezen alkalmazásokat megtartva jelenleg markáns súlypont-eltolódás észlelhető a környezetföldtani alkalmazások irányába: megnőtt a talaj-agyagásványok és általában, a talajt alkotó ásványok, az agyagásvány–fluidum kölcsönhatások, az agyagásványok adszorpciós–deszorpciós sajátosságai vizsgálatának jelentősége. Ez elsősorban az al magyarázható, hogy a talajnak és a talaj-agyagásványoknak döntő szerepük van a környezetet károsító szerves és szervetlen vegyületek, fémionok, stb. megkötésében, és így, a toxikus hatások konzerválásában.

Feltétlenül említésre méltó, ásványtani kutatási irányok még:

- az épített környezetet alkotó műtárgyak, építőkövek antropogén hatásokkal befolyásolt mállási folyamatainak vizsgálata (műemlékvédelem);
- a biomineralógia;
- az archeometria (a régészeti leletek műszeres anyagvizsgálata).

A kozmikus eredetű anyagok vizsgálata területén korábban nemzetközileg elismert munkák születtek elsősorban SZTRÓKAY Kálmán Imre munkássága révén. Hosszabb szünet után napjainkban a magyarországi meteoritok, mikro-szferulitok, valamint egyéb kozmikus anyagok kutatása ismét fellendült.

Példamutató az az aktivitás, amellyel mineralógusaink a nemzetközi szervezetek [elsősorban a Nemzetközi Ásványtani Asszociáció (IMA) és az Európai Ásványtani Unió (EMU)] munkájában vesznek részt, a szervezetek egyes csoportjait, rendezvényeit menedzselik. Ezek közül is elsősorban az EMU ásványtani iskolájának és rendszeres kiadványainak magyar szervezését, valamint az ásványtani múzeumok együttműködésének támogatását emelnénk ki.

Természetesen, ezen új irányok mellett, ezekkel szerves kölcsönhatásban folytatódnak a "klasszikusnak" mondható ásványtopográfiai és ásványparagenetikai vizsgálatok is, amelyek eredményeit kiadvány-sorozatok, monográfiák dokumentálják. Ezzel összefüggésben folyik a magyar vonatkozású ásványok rendszeres újravizsgálata a korszerű nemzetközi kritériumoknak megfelelően.

Áttérve a **kőzettani kutatásokra** elmondható, hogy nem a hazai földtani képződmények felszíni elterjedésének gyakoriságával, sokkal inkább a múlt századig visszanyúló gyökerekkel magyarázható, hogy a kőzettani alap kutatásban a magmás kőzetten ma is jelentős helyet foglal el. A magmás kőzetten mellett az utóbbi időben megerősödtek a metamorf petrogenetikai kutatások, míg a Magyarország felszínének túlnyomó részét borító üledékes kőzetek klasszikus kőzettani vizsgálata terén viszonylag mérsékelt a fejlődés. Az üledékes kőzeteknél elsősorban ásványtani (agyagásványok) és különböző geokémiai eredmények születtek, a délelőtt további előadásaiban tárgyalandó rétegtani, szedimentológiai és egyéb, rendkívül fontos eredmények mellett.

A **magmás kőzetten** területén – a korábbi évtizedekhez képest – a kutatási irányok gazdagodása, egyre mélyrehatóbb, nemcsak a kőzetek, hanem a kőzeteket alkotó ásványok, sőt, egyes ásvány-részek fő-, nyomelem (RFF) tartalmát és egyes izotóparányait meghatározó módszerek igen gyakran nemzetközi kooperációban történő alkalmazása a jellemző.

A mészkáli jellegű andezites–riolitos vulkanizmus világszerte ismert és idézett modell területe a Pannon-medence. E nagy kiterjedésű neogén vulkánosság kutatása során sok új, fontos eredmény született, amelyek közül kiemelkedők azok, amelyek a legmodernebb nyomelem és izotópos módszerek, sokszor nemzetközi kooperációban végzett alkalmazásával mélyreható genetikai eredményeket mutattak fel. Megismertük a kelet-magyarországi (Tiszántúl, stb.) elfedett neogén vulkánosság petrográfiai, geokémiai és genetikai viszonyait. Nemzetközi együttműködésekkel összefoglaló értékelések születtek a Kárpát–Pannon–Balkán terület késő-alpi savanyú vulkanizmusáról és a régió neogén–kvarter vulkanizmusának tér- és időbeli eloszlásáról, a magmatizmus geodinamikai alapú magmagenetikai modelljéről.

A neogén–kvarter alkáli bazaltos vulkanizmus kutatása az utóbbi időben felerősödött. Nemzetközi elismerést váltott ki a Pannon-medence alatti litoszféra és asztenoszféra tulajdonságainak megismerését célzó, nagyrészt nemzetközi kooperációban folyó kutatás, amely az alkáli bazaltos kőzetek peridotit és granulit zárványai alapján az alsókéreg és a litoszféra köpeny része, az alkáli bazalt lávák alapján pedig az asztenoszféra nyomelem- és izotóparányainak megismerését, és ezáltal a köpeny litoszféra-kontamináló hatásának felismerését eredményezte.

A harmadidőszaknál idősebb magmás képződmények szerteágazó kutatásai közül itt csak kettőt emelnénk ki. Korszerű módszerek sokoldalú alkalmazásával megismertük a Tethys mezozoos, riftesedéssel kapcsolatos, részben ofiolit jellegű magmatizmusának geokémiai jellegeit. Ezek az eredmények csakúgy, mint a közép-európai variszkuszi granitoidok komplex, összehasonlító ásványtani, közettani és geokémiai adatokon alapuló új szintézise a Pannon-medence aljzatát alkotó "mikrolemezek" mezozoos és paleozoos kapcsolatainak feltárását; röviden: a térség paleogeodinamikai rekonstrukcióját segítik elő.

Az **üledékes közettani** eredmények közül a magyarországi üledékes formációk diagenetikus folyamatainak, termikus érettségi viszonyainak monografikus jellegű összefoglalását emelnénk ki, hangsúlyozva az eredmények alkalmazott földtani kihatásait.

Perspektivikus, új kutatási irányok: a kavics-konglomerátum, illetve nehézásvány-vizsgálatok, valamint a medenceüledékek hőtörténetét rekonstruáló komplex: termikus érettségi és lehűlés-történeti (fission track) vizsgálatok amelyek eredményei mind a szénhidrogén-kutatásnál, mind az ősföldrajzi-paleotektonikai rekonstrukciónál felhasználásra kerülnek. Jelentős eredmény a bauxit üledékes közettani jellegeinek felismerése és azok értelmezése.

A **metamorf közettan** területén közel negyedszázad telt el a hazai metamorf képződményeket a környező hegységrendszerek keretében értékelő első szintézis, a SZÁDECZKY-KARDOSS Elemér akadémikus vezetésével elkészült, 1:1 000 000 méretarányú metamorfít térkép, a Kárpát–Balkán–Dinarid terület metamorf térképének kiadása óta. Az azóta eltelt időszakban jelentős, nemzetközi elismerést szerzett módszertani és regionális eredmények születtek, elsősorban a polimetamorfózis és az ún. kezdeti vagy kishőmérsékletű metamorfózis terén.

A diagenezis és a metamorfózis közötti határterület módszertani kutatásai során értelmeztük az illit kristályossági indexet befolyásoló ásványtani tényezők (krisztallit méret, rácsdeformáció) hatásait, bevezettük és mind az üledékes, mind a magmás kőzetekre alkalmaztuk a klorit kristályossági mutatót. A filloszilikátok szerkezeti rendezettségén alapuló zónabeosztást más metamorf fokjelző rendszerekkel korreláltuk. Elsősorban e vizsgálatok eredményeképpen lényegesen átalakultak az alpi tektonociklushoz kapcsolódó regionális kőzetátalakulásokra vonatkozó ismereteink.

Mikroszerkezeti, ásványparagenetikai, a koegzisztens ásványgyűttesek elem-megoszlási arányain, a fluid zárványok sajátosságain alapuló geotermobarometriai módszerek alkalmazásával meghatároztuk a polimetamorf képződmények (Soproni-hegység és a Tiszai egység aljzata) metamorf eseményeinek fizikai körülményeit és a metamorf események relatív időrendjét. Kiváló izotópgeokronológiai laboratóriumunk, valamint az ugyancsak nemzetközileg elismert atommag hasadási nyom ("fission track") laboratórium adatai főként csak a bonyolult eseménysor befejező (utolsó metamorf vagy lehűlési) szakaszainak korviszonyait tisztázza. Így az alpi történéseken kívül viszonylag tiszta kép alakult ki a variszkuszi ciklus (elsősorban annak befejező szakasza) metamorf történéseiről. Ezzel szemben nincsenek megbízható koradataink a prevariszkuszi metamorf és magmás fejlődésről.

Ezen, sürgős megoldásra váró, nyitott kérdéscsoport ellenére a metamorf petrogenetikai kutatások eredményei az utóbbi időben jelentős mértékben hozzájárultak a hazai földkéregrészek geodinamikai, paleotektonikai rekonstrukciójának fejlesztéséhez.

A geokémiai kutatásokról szólva elmondható hogy a földtudomány egyes diszciplínái, így az ásványtan, a kőzettan és a geokémia közötti határok is elmosódtak. Így az előbbieken röviden felvillantott, magmás és metamorf kőzetgenetikai eredmények legtöbbször a teljes kőzetet, vagy annak alkotó elemeit vizsgáló geokémiai eredmények is integrálódtak. Ma már viszonylag ritkák az olyan "tiszta geokémiai" kutatások, amelyeknél egy-egy elem vagy elemcsoport különböző geofázisokban, képződésekben való eloszlásának vizsgálata a cél.

Jóllehet jelenleg is folyik érc kutatás geokémiai módszerekkel (pl. aranykutatás stream szediment vizsgálattal, a hazai uránércesedés geokémiai vizsgálata, stb.), vitathatatlan, hogy a jelenleg az üledékes kőzetekkel, üledék- és talajtakaróval, és a hidroszférával kapcsolatos geokémiai munkák uralkodóan a környezetgeokémiai állapot felmérését célozzák. Így, a MÁFI-ban – nemzetközi kooperációt is felhasználva – elkészült Magyarország 1:500 000 méretarányú geokémiai térképe. Ez a munka összekapcsolódott a hazai talajok környezetgeokémiai állapot-felmérésével.

Nagy intenzitással folyik több intézetben is a felszín alatti vizek (talaj-, rétegvizek, gyógy- és ásványvizek) geokémiai vizsgálata; a mélységi vizek kapcsolatrendszerének megismerése, a természetes és antropogén eredetű toxikus alkotók (pl. az arzén és a nitrát tartalom, stb.), szerves és szervesetlen komponensek megismerése és viselkedésük tisztázása céljából.

Az energiahordozó ásványi nyersanyagok kutatásánál alkalmazott szerves geokémiai kutatások, amelyek szintén több kutatóhelyen folynak, immár klasszikusnak, hagyományosnak tekinthetők Magyarországon. Nemzetközileg nagy elismerést szerzett, nagy gazdasági jelentőségű eredmények születtek az üledékes összletek termikus érettségének meghatározása (potenciális anyakőzet-összletek kimutatása) területén. A kerogén evolúció részfolyamatainak (képződés és termikus átalakulás) elemzésével minősítettük az anyakőzeteket, és elkülönítettük az olaj- és gázképző összleteket, jellemeztük az üledékes medencék szénhidrogén-potenciálját. Az anyakőzet kerogénjét és a kőolajtelepek anyagait összehasonlító biomarker vizsgálatával a telepek eredetére, a migrációs pályákra és a migráció során végbement változásokra következtethettünk.

A hazai kőszenek komplex (szervetlen és szerves geokémiai, szén-petrográfiai) vizsgálatai részben a szénképződés földtani körülményeinek jobb megismerését, részben a kőszenek energiatermelés célú hasznosításával kapcsolatos környezetvédelmi kérdések megoldását és részben – perspektivikusan – a komplex hasznosítás lehetőségeit körvonalazzák.

Korszerű, rohamosan fejlődő irány a geokémiában a stabil izotópok vizsgálata. A magmás és metamorf petrogenetikai alkalmazásokról már korábban szóltunk. A különböző elemek stabil izotóparányainak meghatározásán alapuló módszerek jelentős mértékben hozzájárulnak az üledékképződés és a diagenézis szervetlen- és szerves geokémiai folyamatainak megértéséhez.

A stabil és radioaktív izotóp-geokémia alkalmazása nélkülözhetetlen a hidrogeokémiai és környezetgeokémiai feladatok megoldásában. E területeken már eddig is számos jelentős eredmény született. Ezen eredmények egy része retrospektív jellegű (mint például a Balaton kialakulásának, paleoklimatológiai, ökológiai, iszapterakódási és hidrológiai változásainak nyomon követése), többségük azonban a jelenleg is ható folyamatok, pl. különböző térségek regionális víz-utánpótlódási rendszereinek, paramétereinek meghatározását célozza.

Végül: a jelen és a közelmúlt csak nagy vonalaiban, hézagosan ismertetett hazai ásványtani, kőzettani és geokémiai eredményeit mérlegelve úgy hisszük, az elfogulatlan hallgatóban is olyan kép alakul ki, hogy egy viszonylag kis létszámú kutatógárda e tudományterület széles spektrumában működik és ér el eredményeket. Mindazonáltal nem adtunk eddig pontos képet arról, hogy milyen helyet foglalnak el ezek a kutatások, eredmények a nemzetközi tudományos életben. Ezt pótlandó, először tekintsük át, melyek azok a trendek, amelyek a világ fejlettebb részében a geológiának ezt a vitathatatlanul legműszerigényesebb, egyik legköltségesebb területét jellemzik. Ilyen trendek:

- a korábban elképzelhetetlen méreteket öltő specializáció: a szűk területek mélyreható vizsgálata, és ezzel összefüggésben: a szintetizáló munka ritkulása, egyre nehezebbé válása;
- szédületes tempójú módszer- és műszerfejlesztés;
- a hagyományos ("hard rock") témák visszaszorulása és általában: a geológiai intézmények téma/költségvetés/létszámcsökkenése és
- a környezetföldtani (-ásványtani, -geokémiai) kutatási irányok erősödése.

Magyarországon a nyolcvanas évek végén bekövetkezett társadalmi és gazdasági változásokkal többen összefüggésbe hozzák a geológia és ezen belül az ásvány-kőzettani és geokémiai alapkutatók hanyatlását. Való igaz, a gazdaságtalan bányák felszámolásával, a talán túlméretezett, elbürokratizálódott intézmények redukciójával, profil-tisztításaival, az állami-ipari, az egyetemi és az akadémiai szférák szinte állandósult restriktív költségvetési politikájával, e területen is jelentős potenciál-vesztés következett be amit a kutatói létszám drasztikus csökkenése, a műszerpark elöregedése, új, korszerű műszerek beszerzésének ellehetetlenítése, a könyv és folyóirat beszerzések radikális csökkenése is mutat.

E kedvezőtlen hatásokat sokan, részben személyes érintettség okán is, hajlamosak túldimenzionálni. A negatívumokat elismerve mi itt – a fejlődés útját keresve – inkább a sokszor figyelmen kívül hagyott, új pozitívumokat hangsúlyoznánk. A tudományos kutatás, bármi legyen is a tárgya, nemzetközivé vált. Nemzetközi élvonalba tartozó nivós kutatás csak a nemzetközi tudományos élet új eredményeinek, új módszereinek gyors megismerésével, alkalmazásával, interaktív módon érhető el. Korábban soha nem tapasztalt létszámokban kelnek útra fiatal és kevésbé fiatal kutatóink és tanulnak, dolgoznak a világ vezető laboratóriumaiban. Megnőtt az informális, nem bürokratikus szervezetekhez, egyezményekhez kapcsolódó, közös tudományos érdeklődésen alapuló, kölcsönösen előnyös nemzetközi kooperációk száma és tudományos jelentősége. A tudományos alapkutatók eredménye a publikáció és annak visszhangja. Látványosan megnőtt a magyar mineralógusok, petrológusok és geokémikusok egyedül vagy kooperációban készített munkáinak száma a világ vezető nemzetközi tudományos folyóirataiban. Ezeket a munkákat idézik, az eredményeket felhasználják a világ szinte minden táján. Magyar szakemberek fontos, sokszor vezető tisztségeket töltenek be nemzetközi tudományos szervezetekben. Ezek azok az objektív mutatók, amelyek alapján joggal állítható, hogy az ásványtan, a kőzettan és a geokémia számos területén a magyar szakemberek élvonalbeli eredményeket produkálnak.