ZÁRÓJELENTÉS
SZAKMAI BESZÁMOLÓ
(RÉSZLETES JELENTÉS)

A Kárpátok vonulatát követő intrúzív testek szerepe a neogén-kvarter mészalkáli vulkanizmus fejlődéstörténetében

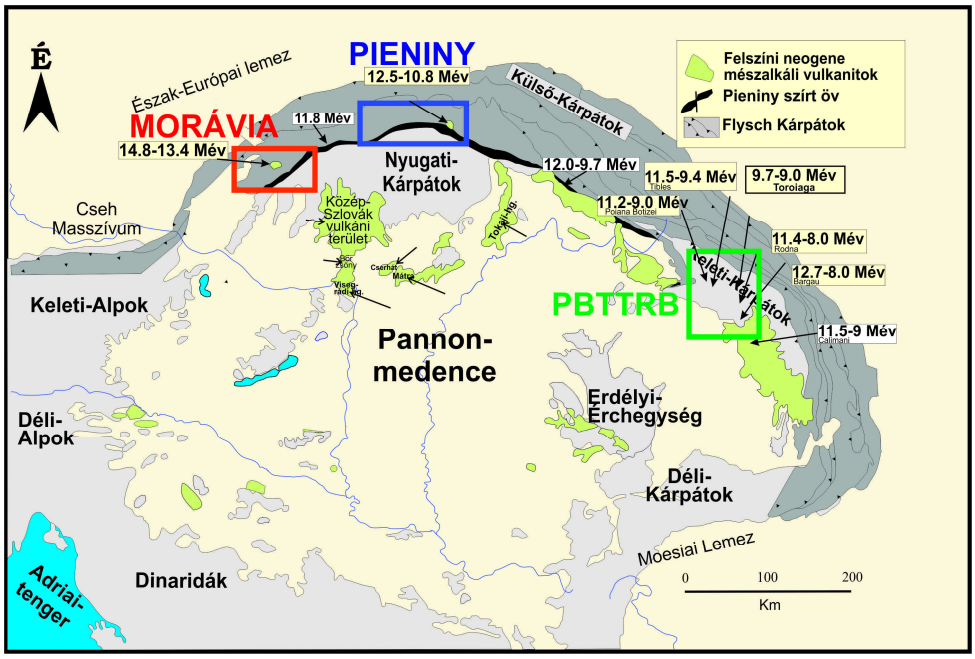
Témavezető: Dr. Pécskay Zoltán

1. Bevezetés

Az intrúzív folyamatok vizsgálatának a tektonikai események, az olvadékképződés, az anyagáramlások, a vulkanizmus és a vulkanizmust lezáró események értelmezésében nagy jelentősége van (Wang et al. 2004; Gröger et al. 2006; Seghedi et al. 2005; Nemcok et al. 1998; Harangi, 2001; Pécskay et al. 1995a; Lexa and Konecny 1999; Konecny et al. 2002; Papp et al. 2005). Az intrúzív magmatizmus tanulmányozása szempontjából a Kárpát–Pannon régió kitűnő lehetőséget kínál. A kárpáti vonulaton kívül, és a kárpáti mészalkáli vulkáni vonulat mentén több száz kilométeren keresztül (Pécskay et al. 1995a; Birkenmajer & Pécskay 1999; Birkenmajer & Pécskay 2000) nagy gyakorisággal fordulnak elő intrúzív magmás testek, amelyek komplex, összehasonlító vizsgálatokra is lehetőséget nyújtanak. Méretük térfogatilag sem elhanyagolható, az ív vulkanitok mennyiségével összevethető.

A pályázatban két vizsgálati régiót jelöltünk ki: (1) Tokaji-hegység és a Nagybányai neogén vulkáni terület, ahol az intrúziókat befogadó kőzetek mészalkáli vulkanitok; valamint a (2) Morávia, Pieniny-hg. és TTRB, az intrúziók második sorozatának típusterületei, ahol a befogadó kőzet idősebb üledék (flis vagy metamorf kőzet). A kiválasztott kutatási területeken az intrúzív testek jól feltártak, mintázhatók, illetve földtani szerkezetük jól tanulmányozható. Ennek megfelelően vulkanológiai vizsgálatokat is végezhettünk, adatokat és kőzetmintákat gyűjtöttünk geokémiai és kronológiai vizsgálatokhoz.

A mészalkáli ív vulkanizmus és az intrúzív magmatizmus között feltételezett szoros tér és időbeli kapcsolatot (Trua et al. 2005; Seghedi et al. 2004a) kutatásaink alátámasztották illetve bizonyították. (Pécskay 2009; XXXX; 2012; Kiss 2010). A Kárpáti ív mentén feltárt intrúzív testek vizsgálata lehetővé tette egy megalapozottabb geodinamikai modell megalkotását, illetve a geotektonikai folyamatok jobb megértését. (Seghedi és Downes 2011, Nejbert et al. 2011)



2. Kutatási események rövid összefoglalása (előrehaladás, problémák, akadályok)

„A Kárpátok vonulatát követő intrúzív testek szerepe a neogén-kvarter mészalkáli vulkanizmus fejlődéstörténetében" címmel beadott pályázatunk 2007-ben pozitív elbírálás alá került. Mivel a kutatási szerződést csak 2007 közepén sikerült megkötni, így abban az évben szükséges terepi munkákat és előkészületeket nem tudtuk megtenni. Az eredeti munkatervtől eltérően 2008 januárjában kezdtük el a kutató munka érdemi részét. 2011-ben pedig egy év hosszabbítást kértünk, így az eredeti tervnek megfelelően négy év alatt sikerült befejezni a kutatásokat.

A **2008-2009**-es évben a kutatási munkatervben az első évekre tervezett feladatokat sikerült teljesíteni. A kutatásokhoz nélkülözhetetlen terepi munka nagy részét, a részletes vulkanológiai megfigyeléseket, és mintagyűjtést elvégeztük. Bejártuk a Tokaji-hegység (Magyarország), a Pieniny-hegység (Lengyelország), és a Torojaga (Románai) intrúzív testeket feltáró lelőhelyeit, és begyűjtöttük a vizsgálatokhoz szükséges kőzetmintákat, amelyeket radiometrikus kormeghatározásra és a nukleáris analitikai vizsgálatokra előkészítettük. Az előkészített minták nagy részének K/Ar korát még ezekben az években meghatároztuk. Ugyan azon minták főelem-oxid és néhány nyomelem koncentrációját prompt-gamma aktivációs analízissel (PGAA), valamint ritkaföldfém tartalmát LA-ICP-MS-sel megmértük. A mintákból csiszolatok is készültek, és azok petrográfiai feldolgozása is megtörtént. A mérési eredmények rendszerezése céljából részletes adatbázis készül.

A **2009-2010**-es évben Romániában jártunk terepen és tanulmányoztuk a Nagybányai érces terület intrúzív magmatizmusát, amelynek során lehetőségünk nyílt érckutató- és szerkezetkutató mélyfúrások szelvényeinek átfogó tanulmányozására. A petrográfiai vizsgálatok alapján kiválasztott alkalmas felszíni- és mélyfúrásokból származó magmintákon K/Ar kormeghatározásokat végeztünk.

Már a bevezetésben meg kell jegyeznünk, hogy a külföldi tudományos együttműködéseink lehetőséget adtak arra, hogy a pályázati témánkhoz kapcsolódóan kiegészítő vizsgálatokat végezhessünk hasonló földtani sajátságokkal rendelkező vulkáni területeken is (Nyugati Kárpátokban a Tisovec Formáció és Új-Zélandon Chatham szigetéről jutottunk fontos földtani adatokhoz.)

A begyűjtött mintákon K/Ar-kormeghatározást végeztünk. A közép-szlovákiai vulkáni területen a Tisovec Formáció komplex vizsgálatában K/Ar-kormeghatározást és geokémiai méréseket végeztünk. Az Erdélyi-Érchegység miocén vulkanizmusának földtani kutatásában végig részt vettünk, a kutatáshoz kapcsolódóan radiometrikus kormeghatározásokat és geokémiai vizsgálatokat végeztünk. A Nyugati-Kárpátok riolitos vulkanizmusának földtani, geokémiai és kronológiai vizsgálatában is részt vettünk, összehasonlító vizsgálatokat végeztünk a Tokaji-Szalánci hegység riolitos képződményein. Körmöcbánya riolitjainak geokémiai és geokronológiai vizsgálatára is sor került.

A **2010-2011**-es évben a pályázathoz kapcsolódóan további terepi és labor munkákat végeztünk. A Tokaji-hegységben és Nagybánya környékén újabb típusfeltárásokat tekintettünk meg minta gyűjtés céljából. Visszatértünk a Pieniny-hegység intrúzív feltárásaihoz, ahol kiegészítő mintagyűjtést végeztünk. A begyűjtött nagybányai és pieniny-i intrúzív minták összetételének vizsgálatát PGAA módszerrel végeztük, és kiértékeltük. A korábban PGAA módszerrel analizált összetételű Tisovec Formáció kőzeteinek K/Ar-kormeghatározását is elkészítettük.

A **2011-2012**-es évben terepi munka keretében részt vettünk a nemzetközi Maar Meeting sorozathoz kapcsolódó két terepi munkán:

- Nógrád-Novohrad-i alkáli bazaltok tanulmányozása,
- Tokaji-hg. Szőlőskei perlites riolittufa kőzettani, vulkanológiai és geokronológiai vizsgálata.

Valamint a Szlovák-Magyar határmenti neogén riolittufák és ignimbritek átfogó tanulmányozásával kapcsolatban jártunk terepen és összehasonlító vizsgálatot végeztünk a Tokaji-hg. és az Avas perlites riolittufáival. Az előző évben begyűjtött és tanulmányozott minták vizsgálati eredményei

még kiértékelésre kerültek, és összefoglaló cikkek, dolgozatok készültek az utolsó kutatási évben. A vizsgált területek szerint begyűjtött mintákról, a belőlük készített mérési eredményekből adatbázist készítettünk.
Az Erdélyi Érchegységben és Körmöcbánya környékén (Nyugati Kárpátok) végzett terepi munkánk eredményei nagymértékben hozzájárultak az intrúzív magmatizmussal kapcsolatosan vizsgált földtani problémák jobb megértéséhez. Különösképpen, regionális szempontból is rendkívül lényegesnek tartjuk az intrúzív magmás testek szerepének igazolását és jelentőségét az egyes gazdaságilag is fontosnak tartott érctelepek leírásában.
A különböző típusú perlitek előfordulásának, keletkezési körülményeivel kapcsolatosan szerzett ismeretek alapján megállapítható, hogy az intrúzív magmatizmus szintén fontos tényező lehet a kőzet átalakulási folyamatban (Szőlőske, Szlovákia).

3. Kutatási eredmények bemutatásának fórumai: konferenciák, workshopok

2008-as év során két konferencia előadáson mutattuk be a vizsgálati eredményeket és belőlük levonható következtetéseket:

- IAVCE 2008, Reykjavik (Izland) vulkanológiai konferencia;
- LASI-III 2008, Elba (Olaszország) lakkolitok és szillek konfernecia.

2008-ban 2 szakcikket (Pécskay et al. 2008; Németh et al. 2008), 1 konferencia absztraktot (Gméling et al. 2008) és 1 kibővített absztraktot (Németh et al. 2008) publikáltunk.

2009-es év során egy konferencia előadáson és egy poszteren mutattuk be a vizsgálati eredményeinket:

- 3rd IMC 2009, Malargüe (Argentína), 3. Nemzetközi Maar Konferencia.

2010-es év során, két konferencián több előadás és poszter keretében mutattuk be a pályázat alatt elért eredményeket és egy szakmai találkozón is részt vettünk:

- XIXth CBGA 2010, Thessaloniki (Görögország), 2010-ben nagy eseménynek számított a régió geológiai folyamataival foglalkozó nemzetközi összejövetel, a XIX. Kárpát-Balkán konferencia, ahol számos előadás és poszter formájában sikerült bemutatni a kutatási eredményeket és a belőlük levonható következtetéseket.

<u>Előadások készültek:</u>

- a Nagybányai érces terület intrúzív magmatizmusáról;
- a Tisovec Formáció komplex vizsgálatának eredményeiből;
- az Erdélyi-Érchegység miocén vulkanizmusának földtani kutatási eredményeiből;
- a Tokaji-Szalánci-hegység riolitos képződményeinek petrográfiai, geokémiai és a kronológiai adatiból és azok értelmezéséből;

A Kárpát-Pannon régió neogén kvarter magmatizmusának vulkanológiai összefoglalását az együttműködő partnerek, összefoglaló cikkben publikálták, amit a CBGA konferencia külön kötetében (CEJG, Central European Journal of Geosciences) bemutattak.

<u>Poszterek készültek:</u>

- a Kárpátokat övező intrúzív testek közül a Pieniny és Morávia területről petrográfiai és geokémiai vizsgálatok eredményei és a kronológiai adatok alapján.

- XXth IMA 2010, Budapest (Magyarország). A másik nagyszabású konferencia eseménye volt a Budapesten megrendezésre került Nemzetközi Ásványtani Szövetség Világkongresszusa.

<u>Poszterek</u>:

- a Kárpátokat övező intrúzív testek geokémiai és kronológiai szerepe a kárpáti mészalkáli vulkanizmus viszonylatában;
- a Tokaji-Szalánci-hegység riolitos képződményeinek petrográfiai, geokémiai és kronológiai adati és azok értelmezése.

- 3rd Maar Workshop 2010, Tapolca (Magyarország). Kutatópartnerünk, Dr. Németh Károly által szervezett szakmai találkozón vettünk részt: “International Workshop on Maar Research in Hungary, Germany, and New Zealand; Results and Perspectives” Tapolca, Hungary 13- 15 of

August, 2010. A szűk körű szakmai találkozón elhangzott előadásokból egy ISBN számmal ellátott kötet jelent meg: New Advances in Maar-Diatreme Research in Hungary, Germany and New Zealand. Results and Perspectives International Maar Workshop Tapolca, Hungary, 13-15 August 2010 Edited by Károly Németh, Balatonlelle, Hungary 2010. ISBN 978-963-06-5638-2

A pályázat vezető kutatója (**Dr. Pécskay Zoltán**) több **nemzetközi meghívást kapott** a pályázat utolsó évében:

- 2011 márciusában a Genfi Egyetem Földtudományi Tanszékétől ahol szemináriumi előadást tartott: Pécskay, Z. (2011): Geochronology of Neogene-Quaternary magmatism in the Carpathian-Pannonian Region. Geneva, University of Geneva, Department of Sciences, 25 March.
- 2011 novemberében a Massey Egyetemre (Palmerston North, Új-Zéland), ahol tartott két kurzust:
  - a Kárpát-Pannon medence harmad időszaki vulkanizmusának geokronológiai vizsgálatáról;
  - az üde és átalakult kőzetek geokronológiai vizsgálatának módszertani kérdéseiről.
  Dr. Németh Károllyal együttműködve a Massey Egyetemmel, Palmerston North (Új-Zéland) közös együttműködést indítottak!
- Részt vett az Új-Zélandi Földtani Társulat által szervezett Nemzetközi Földtani Konferencián, ahol előadást tartott: Chatam Island intrúzív kőzeteinek geokronológiai eredményeiről.
- 2011 decemberében Kaliforniába (Long Beach, USA), ahol egy előadást tartott, amelynek címe: Radiometrikus kormeghatározás elméleti és gyakorlati szempontjai, konkrét földtani problémákon keresztül ismertetve.
- 2012 márciusában Nagybányára, ahol szintén előadást tartott: Az Új-Zélandi neogén mészalkáli vulkanizmus jellemzőiről.
- 2012 áprilisában Prágába, a Geológiai Intézetbe, ahol a King George Island Antarktisz harmadidőszaki vulkanizmusának K/Ar-módszeres vizsgálati eredményeiről tartott előadást.

4. Személyi változások, és azok befolyása a kutatás folyamatára

Tóth Sándorné a projekt alkalmazásában lévő laboráns sokat segített a radiometrikus kormeghatározásra és a nukleáris analitikai vizsgálatokra szánt minták előkészítésében. A laborban megnövekedett analitikai és adminisztratív munkák miatt új munkaerő alkalmazása vált szükségessé. Felvettük **Vasváryné Mizsák Annát**, aki nagyon sokat segített a labor és főként az adminisztratív munkák elvégzésében, az adatbázisok összeállításában.

A 2011-es évben a projekt résztvevő kutatója (**Gméling Katalin**) megszerezte PhD doktori fokozatát. **Dr. Gméling Katalin** 2011. február 9-től 2012. december 1-jéig GYED-en tartózkodik.

A pályázat vezető kutatója **Dr. Pécskay Zoltán** elkészítette és a Magyar Tudományos Akadémiához beadta nagydoktori dolgozatát.

5. Költségtervtől való eltérés és annak hatása a kutatás folyamatára

A 2007-re tervezett költségeket átvittük a 2008-as esztendőre, és a kért egyéves hosszabbítás miatt a felhasználatlan költségek a 2012-es év első felében kerültek felhasználásra.

Az új munkaerő alkalmazása következtében a tervezett bérköltségek megnövekedtek, amit viszont más forrásokból kellett biztosítanunk.

A pénzügyi elszámolás részleteiről az ATOMKI-ban a pénzügyi osztály ügyintézője készít beszámolót, amely ezen zárójelentés összeállítása közben még nem készült el.

A költségekkel kapcsolatosan megállapítható, hogy a pályázat eredeti költségtervében nem történt lényeges változtatás, kivételt képez az analitikai mérleg beszerzése, mivel az általunk eddig használt mérleg elszállításra került az épületből. A rendelkezésre álló pénzösszegeket kizárólagosan csak a kutatási téma kiadásaira fordítottuk.

6. Kutatási eredmények bővebb leírása

A vizsgált kőzetek K/Ar kora túlnyomórészt földtani jelentéssel bír, azaz a radiometrikus korokból következtethetünk a különböző típusú kőzetek keletkezési korára, a magmás tevékenység kezdetének és befejeződésének az időpontjára, valamint a több fázisban lejátszódó földtani eseménysor tér-időbeli eloszlására. Módszertani szempontból az intrúzív területeket vizsgálva nehéz üde kőzetmintát találni, mivel mind a kisméretű kőzettelérek, mind pedig a több km-t meghaladó méretű, sekély szubvulkáni testek is gyakran bontottak (propilitesedés, hidrotermális utóhatások). Különösen komoly gondot jelentett a bazaltos andezitek datálása. Több esetben a rendkívül nagy gáztartalmuk miatt ezek a kőzetek mérésre alkalmatlannak bizonyultak. Ráadásul az alacsony K-tartalmuk miatt (~0,5%), gyakorlatilag nem volt lehetőségünk különböző összetételű kőzetfrakciók szeparálására (Balogh et al., 1994). Továbbá ezek a kőzetek csak nagyobb analitikai hibával (~1 millió év) mérhetők, mivel a hólyagüreges szerkezetükbe utólag atmoszférikus eredetű argon épülhet be. Továbbá a vékonycsiszolati leírások szerint különösen a mikrodioritokban, dioritokban és a bazaltos andezitekben gyakoriak a xenolitok/xenokristályok (Nitoi et al., 2002), amelyet ha nem sikerül elkerülni a mérésre kiválasztott kőzetminták esetében, vagy ha a minta előkészítése során nem tudjuk eltávolítani, illetve megszüntetni ezeket a hibaforrásokat, akkor csak formális analitikai korokkal nézhetünk szembe. Nyilvánvalóan a fenti esetben a földtani adatoknak megfelelően az intrúzív magmás tevékenység valódi korára a teljes kőzeten mért koradat nyújt megbízhatóbb közelítést.

A kárpáti vonulaton kívül, és belül – a kárpáti mészalkáli vulkáni vonulat mentén – előforduló intrúzív magmás testek vizsgálati eredményeinek rövid összefoglalása olvasható az alábbiakban.

6.1. KÁRPÁTOKON KÍVÜLI NEOGÉN INTRÚZÍV MAGMÁS TEVÉKENYSÉGEK ÉS GEOKRONOLÓGIÁJUK

A neogén „external intrúzív magmás testek” több száz kilométeren keresztül – lényegében egy külső vonulatot alkotva – követik a Kárpátok ívét.

A Keleti-Kárpátokban a „Szubvulkáni Zónát” ÉNy-ról DK-felé haladva Pojáná-Botizá–Cibles–Torojága–Radnai havasok és a Borgói-hg., kizárólagosan csak intrúzív magmás testekből álló hegységek építik fel. A neogén magmás testeket befogadó kőzetek metamorf és/vagy üledékes kőzetek. A Szubvulkáni Zóna szerkezeti sajátossága a Bogdan Voda–Dragos Voda oldal eltolódásos vetőrendszere, amely meghatározza az intrúziók benyomulását, illetve irányát. Kivételt képez a Borgói-hegység déli része, amelynek szerkezeti jellegéből adódóan az intrúziók települési iránya már a Kelemenhez hasonlóan egy ÉNy–DK-i irányú vetőrendszerhez köthető (Seghedi 2005, Fielitz és Seghedi, 2005). Terepi munka szempontjából ez a Kárpáti vonulat legveszélyesebb és legnehezebben bejárható területe. Sokáig nem nyílt lehetőség a geokronológiai kutatások elkezdésére, pedig a terület földtani sajátosságaiból adódóan az intrúzív magmás tevékenység tér-időbeli lejátszódásának rekonstruálására kizárólagosan csak a radiometrikus kormeghatározások alkalmazásával van lehetőség.

A Nyugati-Kárpátok északi részén két jelentős intrúzív terület ismert. Ezek a Pieniny és a Morávia intrúzív testek. A miocén korú Pieniny-hegységet kis és közepes méretű andezites hipabisszikus eredetű kőzettelérek és teleptelérek alkotják, amelyek mintegy 20 km távolságon, NyÉNy-KDK-i irányba haladva követhetők („Pieniny andesite line; „PAL”). Az andezites magma a Pieniny Klippen Belt (Belső Kárpátok) és a Magura Takaró (Külső Kárpátok) közötti tektonikai vonal mentén hatolt a repedésekbe, áttörve a Grajcarek sorozat alsó-júra és felső-júra tengeri üledékes összletét és a paleogén üledékes fedőjét és a Magura Takaró felső-kréta-eocén flist. A Pieniny-hegység magmás tevékenysége a szávai (alsó-miocén) hegységképződési fázist követő oldal eltolódásos elmozdulás mentén jött létre (Birkenmajer,1983, 1984). Délkelet Moráviában, Uhersky Brod várostól keletre vannak feltárva a Magura flisbe települt magas K-tartalmú andezites és bazaltos intrúziók. Kémiai összetételüket figyelembe véve ezeket a kőzeteket trachibazaltoknak ill. trachiandeziteknek tekinthetjük. Vulkanológiai szempontból különböző méretű intrúzív magmás testek, kőzettelérek, teleptelérek és lakkolitok formájában jelennek meg.

6.1.1. POJÁNÁ-BOTIZÁ

Az intrúzív magmás tevékenység kezdete a szarmata/pannóniai emelethatár közelébe tehető (~ 11,5 millió év). A Pojáná-Botizából származó kőzeteken mért koradatok, a földtani adatokkal összhangban igazolták, hogy a savanyúbb magmás kőzetek kissé fiatalabbak az intermedier intrúzióknál.

6.1.2. CIBLES/TIBLES

Kőzettanilag a Cibles-hegységet felépítő kőzetek több fázisú magmás tevékenység termékei. Ez a hegység, a Pojáná-Botizával összehasonlítva, nagyobb méretű intrúzív testekből épül fel. A nagyméretű mikrodiorit test benyomulásakor érvényesülő hőhatás a befogadó kőzetet kismértékben fiatalíthatta (argon veszteség), ezért az analitikai kor csak minimális kornak tekinthető (9,4±0,9millió év, Pécskay et al.,1995b).

6.1.3. TOROJÁGA

Torojága szintén egy többfázisú magmás rendszer képviselője, amit egy nagyméretű lakkolit és számos kőzet- és teleptelér épít fel. A geokémiai adatok szerint (Gméling et al., 2007) a Torojága kőzetei a Morávia intrúziókkal mutatnak hasonlóságot (magasabb B és K-tartalom jellemző ezekre a kőzetekre, amiből a kőzetképződés során, a kéregtől származó metaszomatikus hatásra lehet következtetni), viszont különbözik a Szubvulkáni Zónában és a Gutinban feltárt intrúzív kőzetektől. A radiometrikus koradatok is bizonyos szempontból utalnak az eltérő földtani jegyekre. A Torojágában a magmás testek benyomulása kb. 1,5 millió évvel később kezdődik (~10,0 millió év) és rövidebb idő alatt elhal a magmatizmus (8,5 millió év). A monomineralikus biotit frakció és földpát, valamint az alapanyag frakciókon mért koradatokból arra következtethetünk, hogy a hegységben nem volt olyan jelentős hőhatás, amely a kőzetek képződési korát lényegesen fiatalította volna.

6.1.4. RADNAI-HAVASOK, BORGÓI-HEGYSÉG

A geokémiai és izotópos vizsgálatokból arra lehet következtetni, hogy a Radnai-havasok és a Borgói-hegység rendkívül változatos kőzetfáciesei nem köthetők közös eredethez, hanem az egyes kőzetek az összetételi sajátosságainak megfelelően önálló petrogenetikai folyamat termékei. Az intrúzív magmás tevékenység kezdete 11,4 millió évre tehető, amely több magmás fázison keresztül, rövid vulkáni szünetekkel megszakítva, 8 millió évvel ezelőtt fejeződött be. A különböző kőzettípusú intrúziók benyomulásának időpontjában nem tapasztalható egyértelmű fejlődési trend, amely megállapítás elsősorban a korok területi eloszlására vonatkozik. Ugyanakkor megfigyelhető, hogy a savanyúbb, a magasabb K-tartalmú kőzetek valamivel fiatalabbak az intermedier kőzeteknél. A Radnai-havasok magmás tevékenységének időbeli lefolyása az Avas–Gutin–Cibles vonulat magmatizmusával mutat egyidejűséget (alsópannóniai), így a Borgói-hegység fiatalabb intrúzióinak kora inkább a déli szomszédos vulkáni területhez, a Kelemen-havasok fő vulkáni fázisához és a Kelemen kaldera kialakulásának kezdetéhez köthető (Pécskay et al.,1995b, 2006, 2009, Seghedi et al., 2005).

6.1.5. PIENINY-HEGYSÉG

A térképezési munka során a magmás tevékenységen belül két fázist lehetett elkülöníteni. Wzar kőbányában közvetlenül tanulmányozható a „két fázisba” sorolt intrúziók közötti kontaktus. Az „1. fázis” intrúziói leggyakrabban kőzettelérek formájában jelennek meg. Az intrúzív magmás testek települési irányát illetően szembetűnő, hogy a Pieniny Klippen Belt északi szegélyével párhuzamosan, NyÉNy-KDK-i irányt követve helyezkednek el. A kőzetteléreket és a teleptelereket is tektonikai hatás érte. Ezek egy része egyidejű a magmás tevékenységgel, de megfigyelhető a magmatizmus befejeződése után érvényesülő tektonikai igénybevétel is (Birkenmajer, 1979, 1984, Birkenmajer és Nairn, 1969). Kőzettanilag az „1. fázisba” sorolt intrúziók között bázisos, normál és savanyú andeziteket lehet megkülönböztetni (Youssef, 1978, Birkenmajer 1979, 1984). Geokémiai adatok szerint ezek a kőzetek a magas kálium tartalmú bazaltos andezitek csoportjába sorolhatók

(Birkenmajer és Pécskay 2000a, Trua et al., 2006). A terepi mintagyűjtés során, makroszkóposan sokszor kemény, üde kőzeteknek tűnnek, viszont a mikroszkópos és mikroszondás vizsgálatok alapján könnyen felismerhetők a hidrotermás hatások által okozott kőzetátalakulások.

A „2. fázis" intrúziói a hegységnek csak a nyugati szárnyán (Wzar térségében) vannak feltárva. A szinte függőlegesen települő kőzettelérek iránya (DDK-ÉÉNy) eltér az idősebb „1. fázisba" sorolt intrúziók irányától. Tekintettel arra, hogy ezek a kőzetek már nem szenvedtek el hidrotermális bontást, ezért általában kemény, üde kőzetek, vékonycsiszolati leírások szerint durva kristályos, porfiros amfibolaugitandezitek. Geokémiai analízisek adatai szerint, ezek a kőzetek a közepes K-tartalmú andezitek közé sorolhatók (Birkenmajer, 1962, 1963, 1979, Birkenmajer és Pécskay 2000a).

A Pieniny-hegységből az első radiometrikus kormeghatározást a Wzar-hegyről begyűjtött kőzetmintákon végezték Olaszországban. A mintasorozatból egy mintán sikerült értelmezhető kort meghatározni (12,6 millió év), a többi koradat nagy szórást mutatott (3,0-16,0 millió év), a kronológiai vizsgálat szempontjából értékelhetetlen volt. A mérési eredmények alapján világossá vált, hogy a teljes kőzet mintákon végzett analízisek nem teszik lehetővé a korábbi mérések által előrevetített kronológiai problémák megoldását. A magmás tevékenység kezdete csak közelítően adható meg a „földtani hibák" miatt. Célszerű az „alapanyag" és a „teljes kőzet" korokra összpontosítani, így kb. 12,5-12,0 millió év kortartományon belül rögzíthető a magmatizmus kezdete. Ez nem zárja ki annak lehetőségét, hogy lokálisan egy idősebb intrúzív magmás testnek a benyomulása előfordult (pl. Szczawnica térségben). Minden esetre a 13,0 millió év és az annál idősebb korok az amfibolok kristályosodási korával, illetve a többlet Ar jelenlétével magyarázhatók. A magmás tevékenység befejeződése pontosan datálható. A Kluszkowce kőbányából (Wzar-hg., 2. fázisba tartozó intruzió) begyűjtött kőzet-minta "teljes kőzetén" és amfibolján egységesen 10,75±0,47 millió év K/Ar kort határoztunk meg, amely a legfiatalabb intrúzióknak a korát, és egyben a Pieniny-hegység miocén magmatizmusának a végét jelzi (Birkenmajer és Pécskay, 1999, 2000a).

A kb. 2 millió éven keresztül lejátszódó magmás tevékenységen belül az egyes koradatok átfedik egymást. Ellenben felhasználhatók a területen részletesen megvizsgált hidrotermális rendszerrel kapcsolatos földtani- és radiometrikus koradatok. Nevezetesen, a Jarmuta bányájából begyűjtött, hidrotermálisan átalakult andezitből elválasztott másodlagos biotit ásványfrakción mért K/Ar kor (11,3±0,45 millió év) határértéket szab a két fázis időbeliségére vonatkozóan (Birkenmajer et al., 2004). Azok az intrúziók, amelyekben 11,4 millió évnél idősebb K/Ar kor adódott, azoknak a képződési kora nem lehet ennél a kornál fiatalabb, másrészt az „1. fázis" intrúziói közé sorolhatók, mivel csak ezeken a kőzeteken figyelhető meg hidrotermális hatás. Értelemszerűen a „2. fázis" intrúzióinak a képződési kora fiatalabb 11,4 millió évnél.

Összegzésként, a Pieniny-hegység miocén magmatizmusával kapcsolatosan megállapítható, hogy a mészalkáli andezitek/bazaltos andezitek benyomulása 12,5 millió évvel ezelőtt kezdődött, a szarmata emeletben, rövid megszakítás után, kb. 11,2 millió évvel folytatódott (2. fázis), és 10,8 millió éve befejeződött, az alsó-pannóniában. A Pieniny-hegység fejlődéstörténetét összehasonlítva, a kárpáti vonulathoz tartozó többi intrúziós zónával, szembetűnő eltérés a moráviai, torojágai és a Borgó-hegységi intrúziók korával szemben tapasztalható. A moráviai intrúzióknál (badeni/szarmata) fiatalabbak, míg a Torojága és Borgó-hegység legfiatalabb intrúzióinak a kora 8,0 millió évre tehető (Pécskay et al., 1995a, 2006, 2009), így azoknál idősebb magmás képződményeknek tekinthetők.

A Pieniny kőzetek a földköpeny átlag összetételéhez képest erősen inkompatibilis elemekben gazdagok és HFS-elemekben szegények, hasonlóan a mészalkáli vulkáni kőzetekhez. A LILE gazdagodás az alábukó lemezből származó fluidumok hatását jelezheti, vagy legalábbis az olvadékképződés metaszomatizált szubkontinentális litoszféra köpenyben történt, amely korábbi szubdukcióhoz kapcsolódó fluidgazdagodást szenvedett el. A Pieniny intrúzív vonal keleti felében a B- és Pb-tartalom alacsonyabb mint a „2. fázisú" intrúziók esetében. A Pieniny kőzetek B-tartalma a Nyugat-Kárpáti vulkáni kőzetek B-tartalmával (11.1-29.8 μg/g) átfedésben van. Az "1. fázisú" andezitek kisebb mértékű fluid hatást szenvedtek, míg a "2. fázis" kőzeteit kissé nagyobb fluid

hatás érte. A frakcionációs kristályosodás a Pieniny kőzetek petrogenezisére hatással volt, de a részleges olvadás és a forrás összetétel befolyása a kőzetek kémiai összetételére jelentősebb volt, mint az FC és AFC folyamatok.

6.1.6. MORÁVIAI NEOGÉN INTRÚZÍV MAGMATIZMUS

Az üledékes összlet, valamint a magmás testek települési viszonyát tanulmányozva az intrúziók keletkezési kora oligocénnél fiatalabb (Prichystal 1998). A Radnai-havasokban és a Borgói-hegységben feltárt intrúziókhoz hasonlóan, ezen a területen is a magmás kőzetek döntő többsége jelentős mértékben átalakult, a hidrotermás tevékenység bontó hatása következtében (Papp et al., 2005). Először a Nezdenice és Stary Hrozenkov térségéből begyűjtött kőzetmintákon végeztek radiometrikus kormeghatározást. Az első mintán felső-badeni kort (13,5 millió év) mértek, a második mintán már nem sikerült értelmezhető kort meghatározni (Prichystal 1998). Ezen kívül még egy koradat állt rendelkezésünkre, amelyet a Pieniny-hegység és moráviai neogén magmás terület közötti egyedülálló feltárásból, Horné Srnice település mellől begyűjtött mintán mértek (11,8±0,4 millió év; Kantor et al., 1984). A problémák miatt csak nyolc minta esetében sikerült értelmezhető analitikai kort meghatározni, de a koradatok pontossága és megbízhatósága jelentősen eltér egymástól. Összességében a moráviai neogén intrúziók korával kapcsolatosan megállapítható, hogy a külső vulkáni ívhez tartozó intrúziók közül ezek a legidősebb magmás képződmények, amelyek szintén több fázisban lejátszódó magmás tevékenységhez kapcsolhatók. Kor szerint a badeniben feltételezhető két fázis (1., 14,8 millió év és a 2., 13,4 millió év körül) és nem zárható ki egy fiatalabb, a szarmata emeletben lejátszódó magmás fázis sem (11-12 millió év közötti; Pécskay et al. 1995a, 2002, 2006, 2010a,b).

6.2. INTRAVULKÁNI INTRÚZÍV MAGMATIZMUS

Az Avas–Gutin-hegység a Kárpát-medence ÉK-i részéhez tartozó terület, amely a belső kárpáti öv neogén kvarter vulkáni vonulatának szerves része. A neogén vulkáni tevékenység lényegében a két szerkezeti vonulatot követve zajlott le. A Ny-K irányú szerkezeti vonal párhuzamos lefutású a Pannon-medence északi szegélyével, ÉNy-DK irányú szerkezeti vonal pedig K-Szlovákiából indulva párhuzamos lefutású a Keleti Kárpátok vonulatával. A két szerkezeti vonal mentén lejátszódó eltérő sajátosságokkal jellemezhető magmás tevékenység hatása a velük kapcsolatos különböző típusú ércképződési folyamatokban is tükröződik. Borcos és munkatársai (1994) egyes geológiai és geofizikai adatokra alapozva úgy vélték, hogy az Avas–Kőhát–Gutin vonulat mélységi zónáiban nagyméretű neogén magmás testek (plutonok) találhatók, amelyek szoros kapcsolatban vannak a törés rendszerekkel.

A földtani és K/Ar kormeghatározás alapján a vulkáni tevékenység a badeni emeletben, a Gutin-hegység Ny-i és D-i részén kezdődött (Fülöp 2002, 2003). A badeni riolitos vulkanizmussal szemben a szarmata vulkanizmus már dácitos és andezites jelleget mutat, melynek tipikus feltárásai a Gutin-hegység Ny-i övezetében találhatók. A szarmata-pannóniai emelethatár közelében kezdődik a vulkanizmus legintenzívebb fázisa (Edelstein et al., 1992, Pécskay et al., 1994, 1995b). A pannóniai korú magmatitok három szintben jelennek meg; egy „alsó” intrúzív magmás testekből álló, egy „középső” vulkáni-üledékes ill., törmelékes összlet és egy „felső” lávaárakból felépülő vulkáni sorozat (Kovács et al. 1987). A mészalkáli vulkanizmus végét, a Firiza-völgyben feltárt magas alumínium tartalmú bazaltos intrúziós testek megjelenése képviseli (Edelstein et al., 1993).

6.2.1. A GUTIN-HEGYSÉG

A radiometrikus koradatok szerint az intrúzív magmás tevékenység a Gutin-hegységben kb. 11,9 millió év kezdődött. A változatos intrúzív magmás működés (telérek, sillek, lakkolitok, apofizák benyomulása) a felső-szarmatában és alsó-pannóniai emeletben követi az alsó-szarmatában kezdődő dácitos-andezites vulkáni tevékenységet. A neogén mészalkáli vulkanizmus fő időszakában (~11,8-9,2 millió év) az effúzív/extrúzív és intrúzív vulkáni események lényegében egyidejűleg játszódnak le. Az intrúziók teljes kőzetén meghatározott K/Ar korok földtani jelentését

megerősítik az ércesedés korára meghatározott adulár és illit korok is (Lang et al., 1994, Kovács et al., 1997b).