

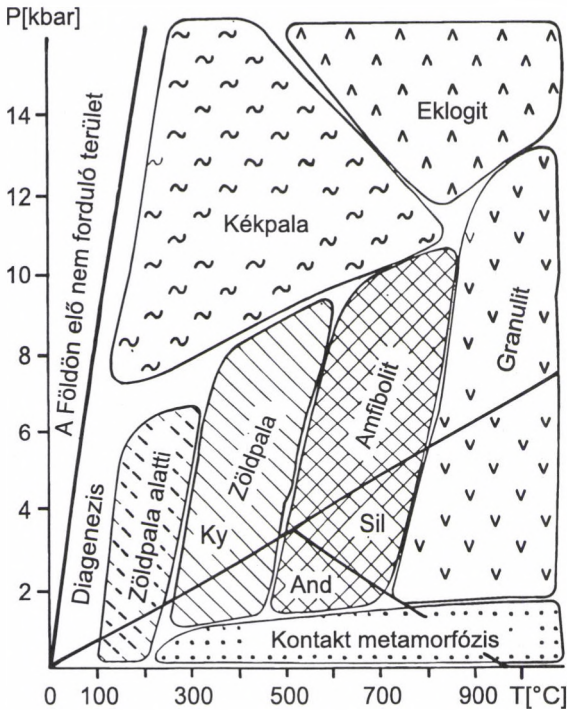
Árkai Péter
az MTA levelező tagja

A regionális metamorfózis és jelentősége a Kárpát- medence kéregfejlődésében

Elhangzott 1998. december 1-jén

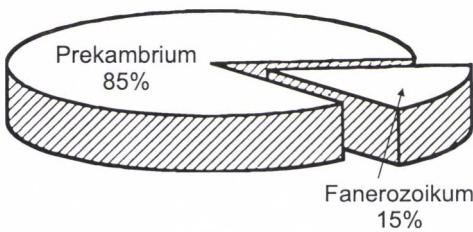
Az előadás a regionális metamorfózisra vonatkozó ismereteknek az utolsó néhány évtizedben végbement fejlődéséről – új elvek, új módszerek kialakulásáról és alkalmazásáról – ad rövid, áttekintő értékelést. A metamorfózis – mint tudjuk – görög szó: átalakulást, bárminemű változást jelent. A geológiában, a kőzettanban szűkebb értelemben használjuk. A metamorfózis olyan folyamat, amely egy kőzet ásványos összetételének, szerkezetének, szemcseméretének, kémiai összetételének megváltozását eredményezi. Ezen ismérvek közül egy kritérium megváltozását vagy e kritériumok tetszés szerinti kombinációja elegendő a metamorfózishoz. Fontos, korlátozó tényező, hogy már kialakult kőzetek átalakulásáról van szó. Ezek a változások a Föld, illetve a bolygók felszínén előforduló, illetve a kéreg sekély, felszíni, felszín közeli mállási és kőzetté válási zónáiban uralkodó viszonyoktól eltérő fizikai és kémiai körülmények hatására mennek végbe, úgy, hogy a kőzet szilárd halmazállapota a folyamat során uralkodóan megmarad, jóllehet – főleg nagyobb hőmérsékleten – a részleges olvadás gyakori jelenség.

A metamorfózis viszonyait leggyakrabban nyomás (P)–hőmérséklet (T) diagramon szoktuk ábrázolni. Az 1. ábra a metamorfózis különböző tartományainak (szakszóval élve: facieseknek) eloszlását mutatja be a P–T síkban.



1. ábra. A metamorf faciesek eloszlása a nyomás (P) és a hőmérséklet (T) függvényében. Rövidítések: And – andaluzit; Sil – sillimanit; Ky – kyanit vagy disztén. Egyszerűsített vázlat Bucher és Frey (1994) nyomán

let-diagramjából is kiolvasható. A nyomástengelyt a földkéreg átlagos sűrűsége (kb. 2,7 gcm⁻³) alapján földkéregbeli mélységgé átalakítva, e diagramból kitűnik ugyanis, hogy metamorf képződmények alkotják a földkéreg néhány



2. ábra. A prekambrium és a fanerozoikum részaránya a földkéreg időbeli fejlődésében

Közismert a Kárpát-medence fő geológiai sajátossága, nevezetesen az, hogy felszínét uralkodó részben fiatal, a földtörténeti harmad- és negyedidőszakban képződött üledékes kőzetek, üledékek borítják. Joggal vetődhet fel a kérdés, miért szükséges egy ilyen területen a vastag üledéktakaróval fedett metamorf földtani képződmények vizsgálata, hiszen ez a munka majdnem olyan lehetetlen, mint egy repülőgépből kitekintve megállapítani, mi van a felhőtakaró alatt, amelyből csupán a magas hegységek egyes csúcsai emelkednek ki.

E meglehetősen eredménytelennek tűnő törekvés egyik magyarázata az 1. ábra nyomás–hőmérsék-

let-diagramjából is kiolvasható. A nyomástengelyt a földkéreg átlagos sűrűsége (kb. 2,7 gcm⁻³) alapján földkéregbeli mélységgé átalakítva, e diagramból kitűnik ugyanis, hogy metamorf képződmények alkotják a földkéreg néhány kilométernél mélyebb szintjeinek döntő részét csakúgy, mint a felső köpeny jelentős hányadát. Egy másik, nem kevésbé fontos indokot a 2. ábra szemléltet. A teljes kör itt – az ismert legidősebb kőzetek alapján – a földkéreg hozzávetőleges korát (kb. 3,8–4 milliárd évet) képviseli. A földkéreg ismert történetének döntő részét (kb. 85%-át)

kitevő prekambriumi képződmények zömét metamorf és magmás kőzetek alkotják, amelyek közül a kvázi izokémikus átalakulás következtében és a magmás homogenizáció hiányában a metamorf képződmények őrizték meg jobban a földtörténet korábbi eseményeinek hatásait. Tehát ha a Föld és ezen belül a földkéreg fejlődéstörténetéről időben és térben teljességre törekvő, hiteles képet akarunk kapni, elkerülhetetlen a metamorf folyamatok, képződmények megismerése.

Az első szintézis és tapasztalatai

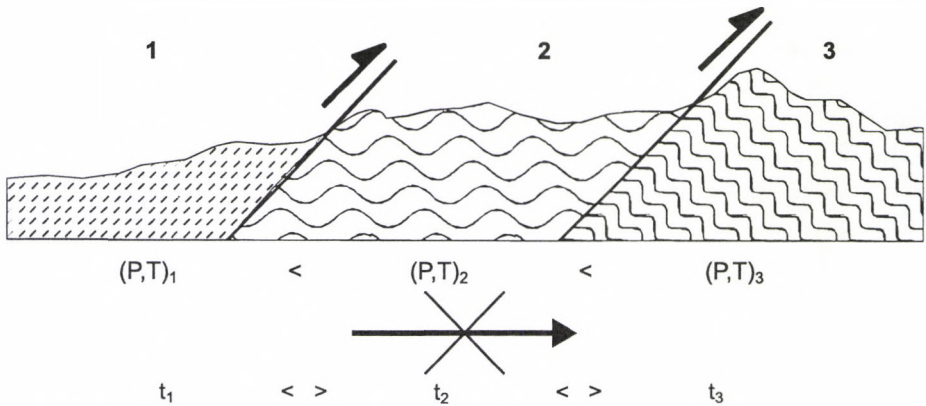
Visszatérve a Kárpát-medencebeli léptékhez: úgy ahogyan nem érthető meg a jelen a múlt ismerete nélkül, nem érthető meg a földtörténeti „közelmúlt” sem a földtörténeti „régmúlt” ismerete nélkül, nem tárhatók fel a medencefejlődés részletei, az ásványi nyersanyagok képződésének, felhalmozódásának körülményei az aljzat szerkezetének, felépítésének, az aljzatot alkotó metamorf képződmények természetének ismerete nélkül.

Ezek a felismerések vezették egykori professzoromat és igazgatómat, Szádeczky-Kardoss Elemér akademikust, amikor az 1960-as évek derekától kezdve, a Kárpát–Balkán Geológiai Asszociáció Magmás és Metamorf Kőzettani Bizottsága elnökeként nemzetközi összefogással megszerkesztette és végül 1976-ban nyomtatásban megjelentette a Kárpát–Balkán–Dinarid terület első és mindmáig egyetlen, 1 : 1 000 000 méretarányú metamorfit térképét (Szádeczky-Kardoss et al., 1976).

Tette ezt abban a reményben, hogy a környező területek (az Alpok, a Kárpátok és a Dinaridák) jól feltárt képződményeire vonatkozó ismeretek extrapolálhatók lesznek a fiatal képződményekkel borított és így természetesen kevésbé ismert hazai medenceterületekre.

Kutatói pályámat jelentősen befolyásolta, hogy kezdőként, technikai szerkesztőként részt vehettem e sokat vitatott, de mindenképpen problémafeltáró mű létrehozásában. E metamorfit térkép készítése során ugyanis nyilvánvalóvá váltak azok az ismeretbeli hiányok, ellentmondások, amelyek meghatározták későbbi metamorf kőzettani vizsgálataim fő irányait.

E térképet mai szemmel tanulmányozva, feltűnő az az ellentmondás, hogy jöllehet az alpi orogén övezet egyik részét ábrázolja, akkori, mintegy 25 évvel ezelőtti ismereteink szerint a térségben az alpi tektonociklushoz kapcsolódó regionális metamorfózis gyakorlatilag elhanyagolható: sporadikus és kis intenzitású volt. A földtörténeti ókornál idősebb (prekambriumi, proterozóos) metamorf eseményeknek tulajdonítottak döntő szerepet a szerzők az adott térségben.

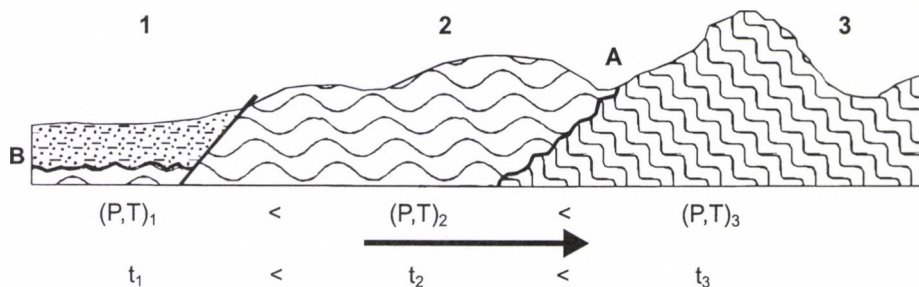


3. ábra. A metamorf öszletek közvetett, metamorf kőzettani és litológiai „bizonyítékokon” alapuló klasszikus korbesorolásának kritikája (a magyarázatot lásd a szövegben)

Miért és hogyan vált a metamorfít térkép negyedszázada még általában elfogadott ismeretanyaga fokozatosan mára már nyilvánvaló ellentmondássá? E jogos kérdésre az alábbi magyarázat adható.

A metamorfít térkép szerkesztésének időszakában, illetve azt követően alakult ki és vált általánosan elfogadottá az „új globális tektonika”, mai nevén a lemeztektonika, amely diszkvalifikálta a metamorf öszletek korbesorolásának korábban általánosan elfogadott, fixista szemléleten, közvetett litológiai és metamorf kőzettani „bizonyítékokon” alapuló gyakorlatát. E gyakorlatot, amelynek lényege a metamorfítok mélység szerinti öves elrendeződéséről szóló Becke–Grubenmann–Niggli-féle elméletre, illetve a Stille-féle geoszinklinális-elméletre vezethető vissza, a 3. ábra szkematikus szelvénye mutatja be. Ha egy vizsgált területen egymástól bármilyen (az orogén övezetekben általában a metamorf eseményeknél fiatalabb, utólagos tektonikai) határral elválasztott, különböző metamorf fokú, esetleg egymástól eltérő litológiájú metamorf öszletek találhatók, akkor ezen öszletek között mind a pre-metamorf kőzetképződési, mind pedig a metamorf (átkristályosodási) korokat tekintve lényeges különbségek vannak, mégpedig úgy, hogy a legerősebben átalakult (az ábrán hármassal jelölt) öszlet a legidősebb. A különböző öszletek között általában egy tektonociklusnak megfelelő jelentős (százmillió év) nagyságrendű korkülönbségeket tételeztek fel.

Mint utóbb, például a Svájci Központi Alpok vizsgálata során kiderült, ez a szemlélet nem tartható. Nagyméretű, posztmetamorf tektonikai mozgásokkal ugyanolyan üledékképződési és metamorf korú, de lényegesen különböző



4. ábra. A metamorf öszszletek korbesorolásának reális lehetőségei a lemeztektonikai elmélet tükrében (a magyarázatot lásd a szövegben)

metamorf fokú, egymástól tektonikai határfelületekkel elválasztott öszszletek kerülhettek közvetlen érintkezésbe, a „transzportált metamorfózis” orogén övezetekben nagyon gyakori példáit szolgáltatva (lásd pl. Frey, 1969, 1988 összefoglaló munkáit). Így tehát – mint ahogyan az a 4. ábrán látható, szemben a 3. ábra vázlatával – csupán az egymástól eróziós diszkordancia-felülettel elválasztott, különböző metamorf fokú öszszletek között állapítható meg jogosan primer kőzetképződési és metamorf korkülönbség. (Ezen az ábrán a hullámos vonalak a különböző korú eróziós diszkordancia-felületeket szimbolizálják.)

Egy következő, az orogén övezetekben általános jelenség – amelyet a térkép számos szerkesztője figyelmen kívül hagyott – a polimetamorfózis, azaz a metamorf események ismétlődése egy adott kőzetöszszletben.

Új célok, új kutatási irányok a hazai metamorf petrológiában

Az előbbieken körvonalazott, megoldatlan problémák alapján metamorf kőzettani vizsgálataim a következő irányokra összpontosultak:

- az esetleges alpi regionális metamorf események kimutatására és intenzitásuk (P–T relációik) tér- és időbeli eloszlásának meghatározására, amelyhez – figyelembe véve a térségnek az Alpokhoz képest lényegesen kisebb exhumációs sebességét, lepusztulását – elengedhetetlen volt;

- a kőzetté válás (diagenezis) és a kőzetátalakulás (metamorfózis) közötti átmeneti terület (sokáig „kőzettani senkiföldje”), az úgynevezett kezdeti vagy igen kis fokú metamorfózis vizsgálatához szükséges módszertani alapok átvétele, fejlesztése;

- nem kevésbé volt fontos a polimetamorf szakaszok elkülönítésére alkalmas ásványkőzettani, geokémiai módszerek kifejlesztése és alkalmazása a Kár-

pát-medence (elsősorban annak déli része) aljzatának nagy részét alkotó képződmények fejlődéstörténetének rekonstrukciójához.

E célok megvalósításához – a klasszikus metamorf kőzettani fény-mikroszkópos ásvány-paragenetikai és mikroszerkezeti vizsgálatokon kívül – sajátos, térségünkben korábban még nem alkalmazott módszerek bevezetésére, továbbfejlesztésére volt szükség. Ezekhez a munkákhoz az MTA Geokémiai Kutatólaboratóriumának magasan képzett kutatógárdája, korszerű műszerparkja nyújtott biztos alapot, nélkülözhetetlen segítséget.

Természetesen a módszertani fejlesztések nem korlátozódhattak a Geokémiai Kutatólaboratórium műszeres lehetőségeire. Számos hazai intézmény munkatársaival (így az MTA Atommagkutató Intézete Izotópgeokronológiai Osztályával, az MTA–ELTE Földtani Kutatócsoportjával, a JATE Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszékével, a Magyar Állami Földtani Intézettel és a Természettudományi Múzeum Ásvány- és Kőzettárával) alakult ki igen hasznos módszertani kooperáció.

Egy új módszer nemzetközi elfogadását nagymértékben elősegíti, ha a módszer alkalmazhatóságát a széles nemzetközi szakközönség által jól ismert, klasszikusnak vagy etalonnak is mondható terület földtani képződményein mutatjuk be. Ezért is munkáinkban – a hazai modellanyagokon kívül – a világ számos részéről – Új-Zélandtól az európai Alpok különböző részein, Nagy-Britannián át az észak-amerikai Québec tartomány, valamint a kaliforniai Franciscan Belt típusos metamorf formációiból – származó mintasorozatokot is vizsgáltunk, kínai (tajvani), olasz, svájci, angol és amerikai szakemberekkel együttműködve, a hazainál sokszor lényegesen jobb analitikai lehetőségeket is kihasználva. Az együttműködő kollégák nevének említése nélkül, e helyen is szeretnék köszönetet mondani mindannyiuknak.

A polimetamorf (azaz két vagy több metamorf esemény nyomait megőrző) földtani képződmények értelmezéséhez hazánkban

– elsőként kezdtük el vizsgálni a metamorf ásványok összetétel-zónásságát, és vontunk le kőzetgenetikai következtetéseket a különböző zónásságtípusok alapján (Árkai et al., 1975 a, b).

– Ugyancsak elsőként alkalmaztuk hazánkban a koegzisztens ásványgyűtések elemmegoszlási arányainak P–T-függő változásain alapuló geotermo- és barométereket, lineáris közelítéssel határozva meg az alföldi és dél-dunántúli polimetamorf aljzat metamorf eseményeinek termikus gradiens-viszonyait (Árkai et al., 1977; Árkai, 1984, 1987b; Árkai et al., 1985). Ezzel kapcsolatban talán említésre érdemes, hogy ezek a termobarometriai módszerek az 1970-es években még csak meglehetősen kezdetleges, kiforratlan formában léteztek. Fontos volt a különböző kőzettípusok más-más ásványgyűtéseinek különböző

szerzők által kidolgozott módszerek alkalmazása és az eredmények kritikus értékelése (például kapcsolódó amfibolit- és gneisz-csillámpala rétegek együttes vizsgálata). Mindazonáltal ezek a módszerek rendkívül hasznosnak bizonyultak az összetartozó (azaz kvázi egyensúlyi rendszert alkotó) ásványegyüttesek meghatározásában csakúgy, mint a keverék ásványegyüttesek szétfésülésében. Napjainkban több, számos metamorf ásvány belső ellentmondást nem tartalmazó termodinamikai adatbázisain alapuló, számítógépes termobarometriai módszer (pl. TWEEQU: Berman, 1991) áll a kutatók rendelkezésére [ez újabb alkalmazás egy példáját lásd Török (1998) munkájában].

A módszerfejlesztés zöme azonban a kezdeti metamorfózis témakörébe tartozott. A kőzetté válás és a kőzetátalakulás közötti határterület vizsgálatának kezdetei a világon az 1960-as évekre tehetők. Miért ez a nagy késés, összehasonlítva a metamorf kőzettan más ágaival? A kezdeti metamorfózis folyamatainak és termékeinek több, a „valódi” metamorfitoktól lényegesen különböző sajátosságai vannak. Ilyenek (a teljesség igénye nélkül):

– A szűk nyomás- és/vagy hőmérséklet-tartományban képződő és stabilis, ún. kritikus, index- vagy faciesjelző ásványok, ásványegyüttesek ritkasága, általános hiánya az üledékes eredetű kőzetekben. (Ezek az indikatív ásványok csak bázisos-intermedier kőzetkémizmus és gyakorlatilag tiszta H₂O-fluid rendszer esetében képződhetnek.)

– A viszonylag kis hőmérsékletnek megfelelő kis reakció- és diffúziós sebességek következtében általános a kis szemcseméret, ezért fénymikroszkóppal nagyon gyakran nem vizsgálhatók érdemben e kőzetek.

– Gyakorik a (részben) nyílt rendszerek, a relikv fázisok, általános a nem egyensúlyi jelleg.

Ezért szükségessé vált a kritikus ásványegyüttesek meghatározásán alapuló klasszikus metamorf kőzettani (metamorf ásvány-paragenetikai, mikroszerkezeti) módszer mellett egyes közönséges kőzetalkotók átalakulási körülményekkel korrelálható, folyamatos szerkezeti és kémiai változásait felhasználó módszerek alkalmazása is. Ilyen módszerek:

– a filloszilikátok (elsősorban illit és klorit, kémiai összetételének, kristályossági indexeinek, krisztallitméret- és rácsdeformáció-értékeinek meghatározása röntgen-diffraktométeres, transzmissziós elektronmikroszkópos, analitikai elektronmikroszkópos és elektronmikroszondás módszerrel;

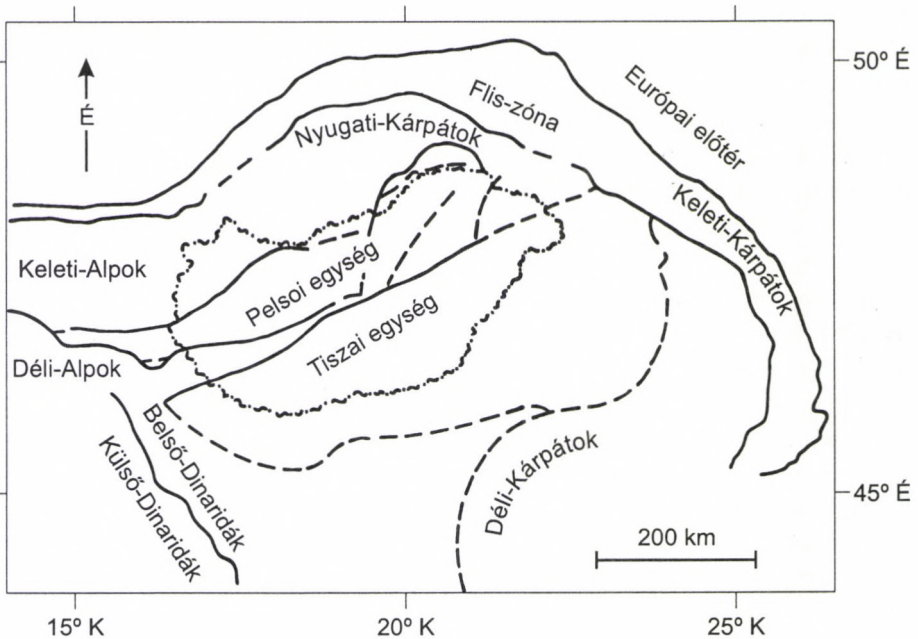
– a diszperz szénült szerves anyag termikus érettségi fokának és szerkezeti rendezettségének meghatározása optikai és röntgen-diffraktométeres módszerrel;

– a konodonták termikus érettségtől és tektonikai deformációtól függő szín- és szerkezetváltozásainak meghatározása stb.

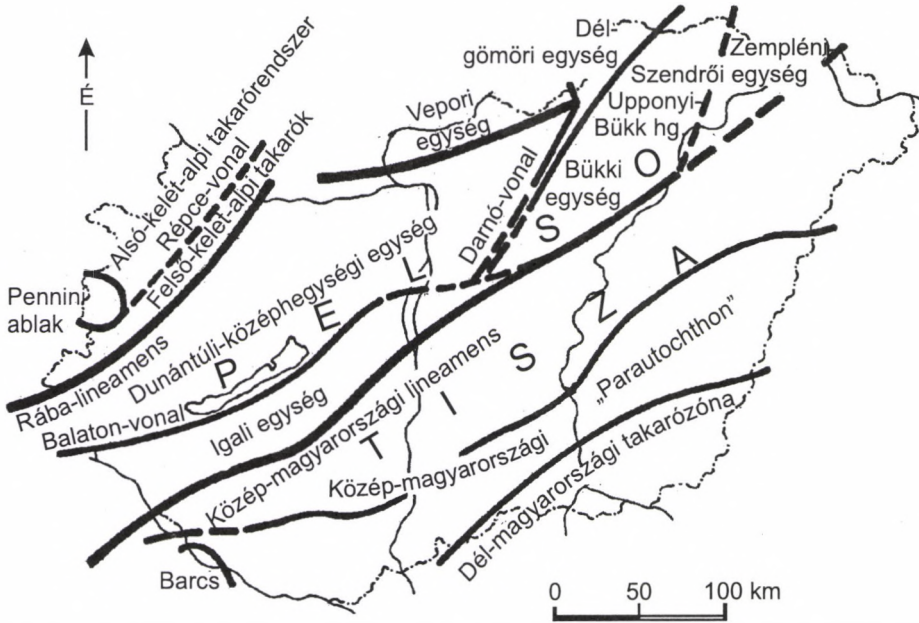
A Kárpát-medence metamorf képződményeinek fejlődéstörténete az újabb eredmények tükrében

Az alábbiakban arról adunk rövid, szemelvényes bemutatót, hogy miként fejlesztették tovább, mennyiben változtatták meg a fent vázolt módszerekkel kapott új eredmények a Kárpát-medence és ezen belül elsősorban hazánk metamorf kőzeteinek fejlődéstörténetére vonatkozó elképzeléseinket. A hazai alkalmazásokkal kapcsolatban feltétlenül meg kell említenünk néhai Fülöp József akadémikus rendkívül pozitív tudományszervező és tudománytámogató tevékenységét, amellyel – az országos földtani alapszelvényprogram kezdeményezőjeként és vezetőjeként – az általában rossz feltártságú metamorf képződmények rendszeres, részletes kutatását koordinálta. Ugyancsak megemlítendő a MOL Rt. és jogelőde, az OKGT és vállalatai szerepe, elsősorban a medencealjzati képződmények tudományos igényességű feldolgozásának kezdeményezésében és támogatásában.

Az 5. ábra az Alp–Kárpáti–Pannóniai rendszer egyszerűsített nagyszerkezeti vázlatát, a 6. ábra Magyarország nagyszerkezeti egységeit és az ezeket határoló lineamenseket mutatja be. Géczy (1973), majd később Kovács (1982), Kázmér



5. ábra. Az Alp–Kárpáti–Pannóniai rendszer egyszerűsített nagyszerkezeti vázolata



6. ábra. Magyarország nagyszerkezeti egységei és ezek határai Fülöp, Dank et al. (1987) nyomán, erősen egyszerűsítve

és Kovács (1985), Haas et al. (1990), Balla (1988), Csontos et al. (1992), Horváth (1993) és mások nagyszerkezeti tanulmányai, valamint a Szederkényi Tibor és Kovács Sándor főszerkesztők vezetésével elkészített térképműve és magyarázó (Kovács et al., 1996–1997) alapján elmondható, hogy a Kárpát-medence pretercier aljzatát, az aljzat nagyszerkezeti elemeit a Neotethys különböző részeiről, határoló kontinentális peremeiről származó kéreg- vagy litoszféradarabok (ún. mikrolemezek vagy blokkok) alkotják. Ezek a blokkok a mezozoikum, illetve a harmadidőszak során bonyolult, jégtáblák torlódására emlékeztető, uralkodóan horizontális jellegű mozgásokkal kerültek jelenlegi helyzetükbe, úgy, hogy a miocén kor közepére a jelenlegi blokk- vagy tere-numeloszlás lényegében már kialakult.

A Keleti-Alpok, a Kárpátok és a Dinaridák határolta medenceterület földtani harmadidőszaknál idősebb aljzata két nagy részből, a Pelsoi és a Tiszai nagyszerkezeti egységből áll, mindkét egység összetett jellegű. Balogh (1964), Wein (1969), valamint Kovács (1982) és mások munkássága alapján tudjuk, hogy a Pelsoi egység egyes részei (elsősorban a Bükki és a Dél-gömöri egységek) a Dinaridákkal, a Karavankákkal és a Keleti-Alpok egyes részeivel, a

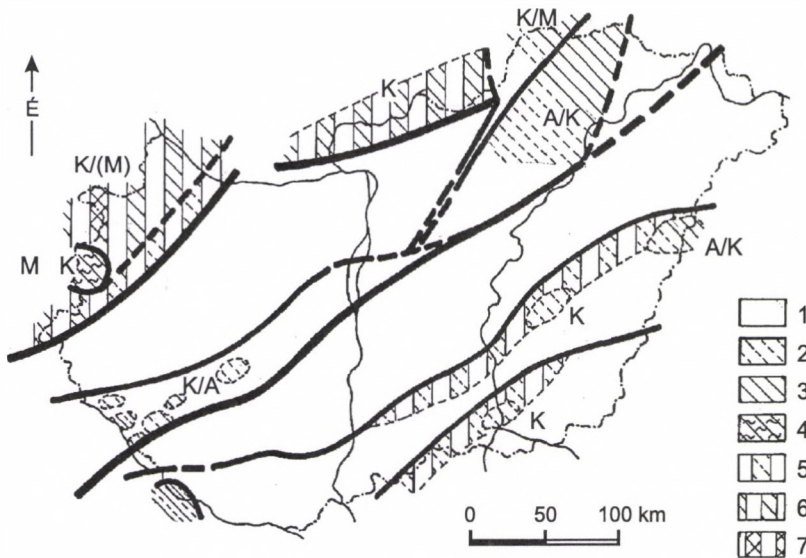
Dunántúli-középhegységi egység a Keleti- és Déli-Alpokkal mutat szoros rokonságot, egyben kijelölve a paleogeográfiai eredetet is.

A Pelsoi nagyszerkezeti egységgel szemben a Tiszai nagyszerkezeti egység teljesen más eredetű. Géczy Barnabás akadémikus negyedszázaddal ezelőtt őslénytani kutatásai alapján elsőként bizonyította azt az azóta különböző bio- és litosztratigráfiai, ősföldrajzi, gránitkőzettani és geokémiai, valamint más módszerekkel megerősített tény, mely szerint a Tiszai egység a Neotethys északi, ún. stabilis vagy variszkuszi európai pereméről szakadt le a jura időszakban, és vándorolt jelenlegi helyére, délebbre, mint a dinári jellegű Bükkium északkeletre vonszolt részei (Géczy, 1973). Ez a mozgás csakúgy, mint a Bakony–Dráva-vonulat „kontinentális kitérési” mechanizmusa (Kázmér és Kovács, 1985), több száz kilométeres horizontális helyváltoztatásokat bizonyít. Ezek a jelenségek egyben olyan szabadságifok-többletet is jelentettek, amelyek figyelembevételével a 3. ábrán bemutatott „fixista”, indirekt metamorf korbesorolási módszer minden bizonyító erejét elvesztette.

Mindezek alapján a korábbi általános gyakorlathoz képest a metamorf folyamatok regionális értékelésénél stratégiát változtattunk: nem a legidősebb (legbizonytalanabb) képződmények bonyolult történetét akartuk először megfejteni, hanem a földtani időben fokozatosan visszafelé haladva, először a legfiatalabb, az alpi tektonociklushoz köthető metamorfózis jellegeit akartuk tisztázni. Ezután, az alpi hatásokat mintegy lefejtve, a következő – a variszkuszi (vagy hercini) – ciklus történéseinek megismerésére kerül sor stb. Először 1989-ben ábrázoltuk két metamorf térképvázlaton elkülönítve a Magyarország nagyszerkezeti egységeit ért alpi és prealpi metamorf hatásokat. Ez a munka nyomtatásban 1991-ben jelent meg (Árkai, 1991a). Ezeket a vázlatokat azután, kisebb változtatásokkal több kiadványban is felhasználták (Szederkényi et al., 1991; Lelkes-Felvári et al., 1996; Árkai, 1997). E gyakorlat helyességét többek között az is bizonyítja, hogy az Alpoknak a közelmúltban nyomtatásban megjelent metamorf térképét, amelynek szerkesztését több tucat szerző részvételével az 1990-es években indították meg, hasonló elvek alapján készítették el.

A 7. ábra az alpi, tehát kb. 240 millió évnél fiatalabb metamorfesemények eloszlását – az alpi metamorfózis hőmérsékleti és nyomásviszonyait – tünteti fel Magyarország nagyszerkezeti egységeiben. Ha jelenlegi ismereteinket összehasonlítjuk a Kárpát–Balkán–Dinarid terület negyedszázaddal korábbi metamorfit térképével, szembeötlő, hogy az alpi regionális metamorfózis lényegesen nagyobb területekre terjed ki a jelenlegi eróziós szinten, illetve a pretercier aljzatban, mint ahogyan azt korábban véltük.

Az alábbiakban az egyes nagyszerkezeti egységeket jellemezzük röviden, az alpi regionális metamorfózis szempontjából.



7. ábra. Az alpi regionális metamorfózis eloszlása Magyarország nagyszerkezeti egységeiben, Árkai (1991a) nyomán, módosítva.

Jelölések: A – alacsony vagy kis, K – közepes, M – magas vagy nagy nyomástartomány; 1 – nem metamorf, 2 – nagyon kis fokú metamorfózis („zöldpala-facies alatti” tartomány; 3 – zöldpala-facies; 4 – polifázisú metamorfózis: kékpala-faciesű metamorfózis zöldpala-faciesű felülbélyegzéssel; 5, 6 és 7 – alpi felülbélyegzés (policiklusos metamorfózis) a prealpi metamorf aljzatban; 5 – nagyon kis fokú metamorf felülbélyegzés; 6 – zöldpala-faciesű felülbélyegzés; 7 – közepes nyomású amfibolit-faciesű felülbélyegzés

A Pelsoi nagyszerkezeti egység összetett terénium (Kovács et al., 1996–1997). A Bükk nagyszerkezeti egység (azaz a Bükk, az Upponyi- és a Szendrői-hegység) paleozóos és mezozóos képződményeit alpi (kréta időszak), anchi-, epizónás, tehát a zöldpala-facies alatti metamorf tartománytól a zöldpala-facies biotit zónájáig terjedő (kb. 200–450 °C hőmérsékletű) regionális (dinamotermális) metamorfózis érte. A metamorfózis nyomástartománya a kis-átmeneti kis-közepes között változott, csak viszonylag szűk tektonikai zónákban érte el a közepes nyomástartományt. (Árkai, 1973, 1977, 1983, 1991b; Árkai et al., 1981, 1995a).

A Dél-gömöri egység alpi takarós szerkezetű újpaleozóos-mezozóos Aggtelek–Rudabányai-hegységében az ugyancsak kréta időszak regionális átalakulás hőmérséklete a diagenezistől az anchizónán át a zöldpala-facies kloritzónájáig (maximálisan kb. 350–400 °C-ig) változott. A metamorfózis uralkodóan közepes, illetve átmeneti közepes-nagy nyomástartományú volt, és szoros geotektonikai kapcsolatban lehetett a Rozsnyói övezet mentén található, szubdukciós

lemeztektonikai környezetre utaló glaukofánpala-előfordulásokkal (Árkai és Kovács, 1986).

Az ún. *Közép-magyarországi* vagy *Igali egység* ismereteink szerint egy komplikált felépítésű tektonikai övezet, amely nem ősföldrajzi, hanem csupán tektonikai kapcsolatot jelent a Bükkium és a Dinaridák között. Ebben az övezetben – a sporadikus mélyfúrási minták alapján – szintén kimutathatóak voltak anchi-, epizónás (200–400 °C hőmérsékletű), kis-közepes nyomástartományú metamorfitek, hasonlóan a Bükki, illetve a Dél-gömöri nagyszerkezeti egységhez. Különbség, hogy ebben a zónában – helyenként – a kréta regionális metamorfózist harmadidőszaki, kb. 30 millió éves metamorf felülbélyegzés is érte (Árkai et al., 1991).

A *Dunántúli-középhegységi egységben* – ideértve a Kisalföld Rába-vonaltól délkeletre eső aljzatát is – alpi regionális metamorfózis nyomai nem észlelhetők.

A Rába-vonaltól északnyugatra a *Keleti-Alpok különböző szerkezeti egységei* húzódnak. A legmélyebb szerkezeti egységben, a *Penninikum*hoz tartozó Kőszeg–Rohonci-hegység mezozoikumában Lelkes–Felvári (1982) eoalpi (kréta) kékpala-faciést követő mezoalpi (tercier) zöldpala-faciessel jellemzett polifázisos eseménysort mutatott ki. Az *Alsó-kelet-alpi takarórendszer*hez tartozó Soproni-hegység metamorf összetétét uralkodóan zöldpala-faciesű, maximálisan az amfibolit-facies kis hőmérsékletű részét is elérő hőmérsékletű, uralkodóan közepes, helyenként nagynyomású felülbélyegzés érte (Lelkes–Felvári, Sassi et al., 1981; Lelkes–Felvári et al., 1984; Kisházi és Ivancsics, 1985, 1987; Török, 1998).

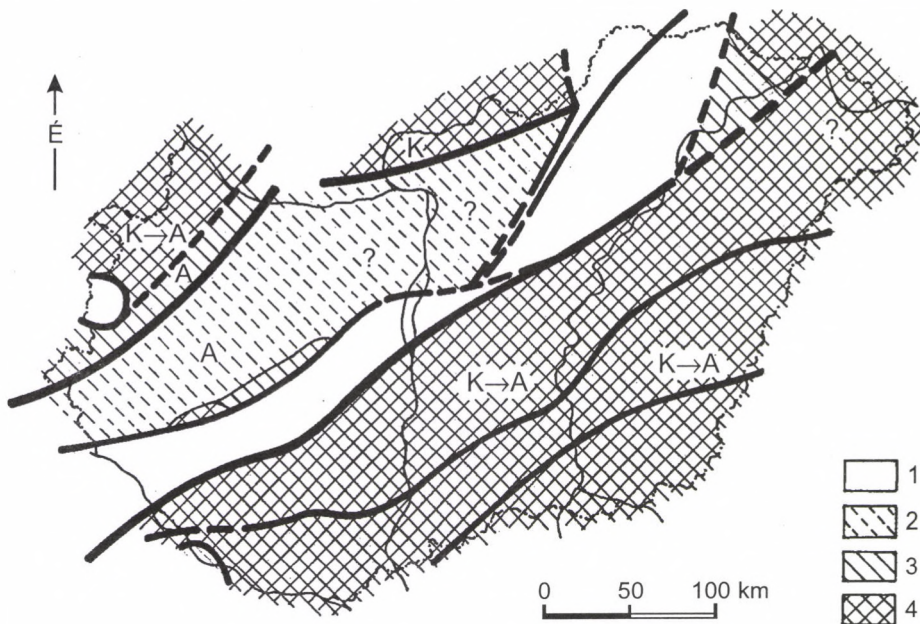
A kisalföldi aljzat Rába- és Répce-vonal közötti részét általában a *Felső-kelet-alpi takarórendszerrel* és ezen belül a gráci paleozoikummal azonosítják (Balázs, 1975; Fülöp, 1990). E képződményeknél kis (250–300 °C hőmérsékletű) alpi termikus felülbélyegzés volt kimutatható (Árkai és Balogh, 1989).

Jóllehet a *Tiszai nagyszerkezeti egység* (más néven Tisia összetett terrénium, lásd Kovács et al., 1996–1997) korszerű lemeztektonikai értelmezése alapvetően és lényegesen különbözik a Tisia Prinz (1926) által bevezetett eredeti fogalmától, amely Kober (1923) és Lóczy (1918, 1924) közttestömeg- vagy -masszívum-elméletén alapult, a legutóbbi időkig általánosan elfogadott volt az a nézet, mely szerint a Tiszai egység az alpi tektonociklus során az egyik legellenállóbb rész volt. Egy olyan rész, amelyet – eltekintve a prealpi polimetamorf aljzattól lokálisan ért kis hőmérsékletű retrográd felülbélyegzéstől – gyakorlatilag elkerültek az alpi progresszív metamorf folyamatok. Bár az intenzív mélyfúrásos kutatás során ismertté váltak feltolódásos szerkezetek az Alföld aljzatában (Pap, 1990), és az aljzat részletes vizsgálata az Erdélyi-középhegységgel összefüggő alpi takarós szerkezetek kimutatását eredményezte (Szederkényi, 1984, 1996), úgy véltük, a Tiszai egység posztvariszkuszi képződményeit nem érte regionális metamorfózis. Az aljzat áttolódási övezeteiből

származó minták újabb vizsgálata alapján kiderült azonban, hogy a mezozoós-képződmények egy nem elhanyagolható részét anchi-, epizónás (kb. 200–400 °C hőmérsékletű), progresszív, közepes-kis nyomástartományú alpi (kréta) regionális metamorfózis érte (Árkai et al., 1998). Tehát: a regionális metamorfózis szempontjából a Tiszai egység nem volt intakt az alpi tektonociklusban. Néhány száz Celsius-fokos hőmérséklet a mezozoikum kéregszintjében viszont arra figyelmeztet, hogy – legalábbis helyenként – lényeges rekonziderációra szorulhatnak a prealpi polimetamorf aljzatot ért alpi hatásokra vonatkozó korábbi nézetek.

Dinári jellegű alpi metamorf mezozoós összlet a polimetamorf aljzatra tektonikusan rátolt, „egzotikus” helyzetben a Dráva-medence területén (a Barcs–nyugati szénhidrogén-kutatási körzetben) is ismertté vált (Árkai, 1990; Balogh et al., 1990).

A prealpi (elsősorban variszkuszi) metamorfózis eloszlását a 8. ábra mutatja be.



8. ábra. A prealpi regionális metamorfózis eloszlása Magyarország nagyszerkezeti egységeiben, Árkai (1991a) nyomán, módosítva.

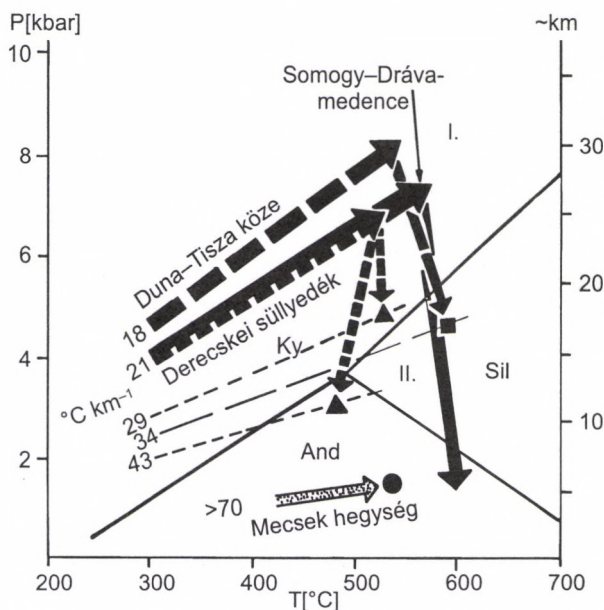
Jelölések: A – alacsony vagy kis, K – közepes, M – magas vagy nagy nyomástartomány; 1 – nem metamorf; 2 – a nagyon kismélységi metamorfózis (a „zöldpala-facies alatti” tartomány) faciesei; 3 – zöldpala-facies; 4 – amfibolit-facies

A *Pelsoi nagyszerkezeti egység* egyes részei a variszkuszi metamorfózis szempontjából eltérő módon viselkedtek. A *Bükk*i, a *Dél-gömöri* és az *Igali* egységekben ez ideig nem volt bizonyítható variszkuszi regionális metamorfózis. Ezzel szemben a *Dunántúli-középhegységi egység* paleozoos képződményei kis nyomástartományú, uralkodóan zöldpala-facies alatti és zöldpala-faciesű regionális metamorfózist szenvedtek (Lelkes-Felvári, 1978; Árkai és Lelkes-Felvári, 1987; Árkai 1987a). A metamorfózis foka helyenként (elsősorban a Balatontól délnyugatra) az amfibolit-fáciest is elérte (Árkai, 1987a).

A Rába-vonaltól északnyugatra, a *Keleti-Alpok* Magyarországra átnyúló egységeiben változatos a kép. A Soproni-hegység *Alsó-kelet-alpi* összletét egyes részleteiben még ma is kutatott, közepes, majd kisnyomású, polifázisos metamorfózis érte a variszkuszi ciklusban (egyek korai események akár a prevariszkuszi időszakot is képviselhetik, lásd Lelkes-Felvári et al., 1984). A Kisalföld Rába-és Répce-vonal közötti területein (a feltételesen a *Felső-kelet-alpi gráci paleozoikummal* korrelált aljzatban) variszkuszi kisnyomású zöldpala-faciesű metamorfózist mutattunk ki (Árkai et al., 1987; Árkai és Balogh, 1989).

A *Tiszai nagyszerkezeti egység* polimetamorf aljzatának értelmezését a korábban vázolt alpi felülbélyegzés és e felülbélyegzés részletes, tér- és időbeli eloszlása vizsgálatának hiánya nagymértékben megnehezíti. Az egység metamorf képződményei a felszínen kis kiterjedésben csak a Mecsek hegységben található. Jóllehet az elmúlt évtizedekben elsősorban az intenzív szénhidrogén-kutatás által felszínre hozott mélyfúrási magminták vizsgálatával, nagy szellemi és anyagi ráfordítással próbáltuk megfejteni az aljzat korai történetének titkait, még számos nyitott kérdés vár megoldásra. A Tiszai egység magyarországi része egészének aljzatáról Szederkényi Tibor készített átfogó, részletes, összefoglaló értelmezést (Szederkényi, 1984, 1996; Szederkényi et al., 1991). Mi egyes kutatási területek (pl. a Somogy-Dráva-medence, a Duna-Tisza köze középső része, a Tiszántúl középső része, a Mecsek és környéke egyes részei) részletes protolitvizsgálatával, a metamorf és posztmetamorf eseménysorok rekonstruálásával járultunk hozzá az aljzat jobb megismeréséhez (Árkai, 1984, 1987b; Árkai et al., 1985, 1995b; Árkai és Nagy, 1994; Lelkes-Felvári et al., 1996; Árkai és Lelkes-Felvári, 1998).

Mint ahogy az a 9. ábrán látható, az aljzat uralkodó (Szederkényi által „Közép-magyarországi Parautochthon”-nak nevezett) részén több területen termobarometriai módszerekkel igazoltuk (Lelkes-Felvári, Sassi et al., 1981) kritikus ásvány-előfordulások alapján felállított modelljét: nevezetesen azt, hogy a kimutatható első, progresszív, közepes nyomású (ún. diszténes vagy kianitos) amfibolit-faciesű eseményt egy kisnyomású (andaluzitos) felülbélyegzés követte. Lineáris közelítéssel meghatároztuk az egyes események

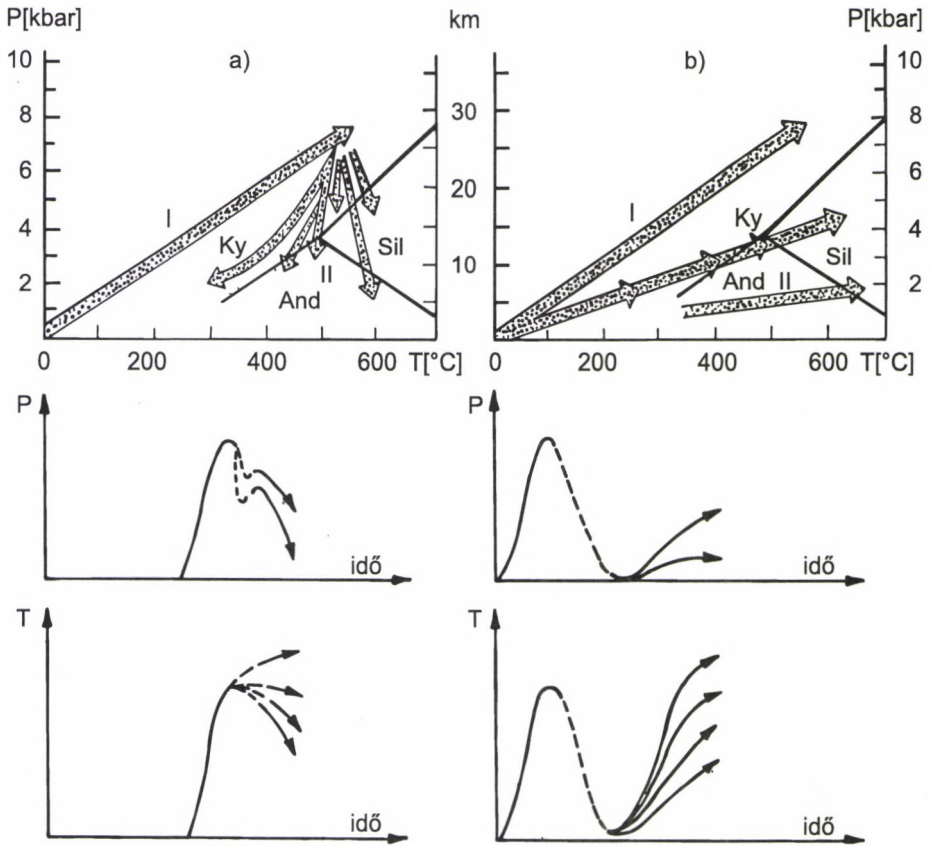


9. ábra. A prealpi polimetamorf szakaszok nyomás-hőmérséklet-viszonyai a Tiszai egység három különböző részének aljzatában, Árkai et al. (1985) nyomán
 Jelölések: And – andaluzit; Ky – kianit vagy disztén; Sil – sillimanit

metamorf termikus gradiens-viszonyait. E modellt továbbfejlesztve kimutattuk, hogy ez a kisnyomású felülbélyegzés (amelyhez a variszkuszi szinkinematikus granitoid magmatizmus szorosan kapcsolódott) változó, részben prográd, részben retrográd jellegű volt (Árkai, 1984, 1987b; Árkai et al., 1985).

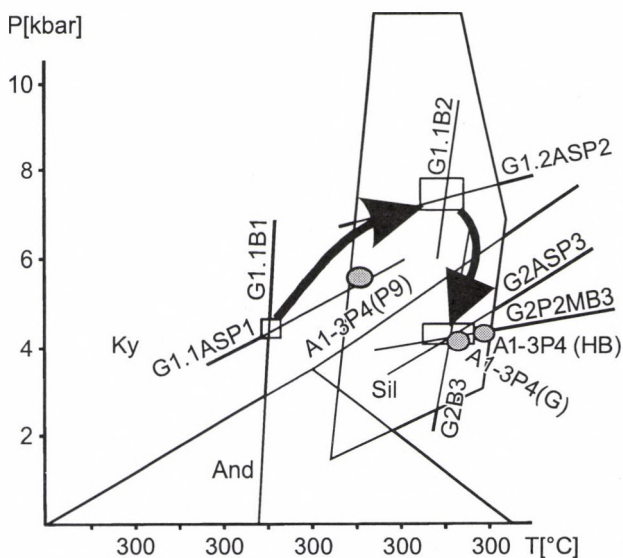
Az adatok értelmezésénél felvetődő alapvető, megnyugtatóan máig sem megoldott dilemmát a 10. ábra szemlélteti. Az adatok kétféle földtani értelmezést tesznek lehetővé. A bal oldali, (a)-val jelölt részábrákon egy a variszkuszi tektonocikluson belüli ún. polifázisos eseménysort tételezünk fel, úgy, hogy az egyes események (polimetamorf szakaszok) között nem számolunk nagymértékű kiemelkedéssel (lepusztulással, lehűléssel). Ezt a pályát szemléltetik a P-T, a P-ido és a T-ido diagramok görbéi. A másik lehetőség [amelyet a jobb oldali (b) ábrásor mutat be] az egyes metamorf események között jelentősebb időkülönbségekkel, posztorogén kiemelkedéssel, lehűléssel számol: az egyes események különböző variszkuszi és prevariszkuszi (kaledoni és még idősebb) tektonociklusokhoz tartozhatnak.

Jelenleg a felhasználható izotóp-geokronológiai módszerek közül elsősorban megbízható, nagy mennyiségű K-Ar, Rb-Sr koradat, cirkon és apatit



10. ábra. A polimetamorf szakaszok földtani értelmezésének elvi lehetőségei, Árkai et al. (1985) nyomán. (A magyarázatot lásd a szövegben)

fission track korok, kevés Ar-Ar koradat és – sajnos csak a granitoidokból – sporadikus cirkon U-Pb korok állnak rendelkezésünkre. Ezen izotóprendszerek különböző ásványfázisokban megfigyelt ún. záródási vagy blokkolási hőmérsékletei általában jóval kisebbek, mint a biztosan variszkuszi második (kisnyomású) metamorf esemény számított hőmérsékletei. Ezért ezekből az adatokból nem is várhatók variszkuszinál idősebb korok. A kérdés megoldásához részletes ásvány-paragenetikai és termobarometriai módszerekkel elővizsgált minták gránát- és amfibol-szeparátumainak Sm-Nd izotópos vizsgálata szükséges. Közvetett (földtani) bizonyítékok – például a kaledoni szinorogén és késő orogén magmatizmus hiánya, a kaledoni szin- és posztorogén üledékek hiánya –, valamint közvetlen bizonyítékok – a



11. ábra. Progresszív polimetamorf P - T -pálya rekonstrukciója termobarometriai számításokkal. Baksa-2 jelű fúrás (Dél-Dunántúl) gneisz és csillámpala anyaga.

Jelölések: And – andaluzit, Ky – kianit vagy disztén, Sil – sillimanit, G – gránát, A – amfibol, AS – Al_2SiO_5 módosulat, B – biotit, M – muszkovit, P – plagioklász.

Az ötszög a sztaurolit stabilitási tartományát jelzi.

Az ásványnevek mellett található számok a különböző generációkra utalnak

retrogresszió hiánya a két fő metamorf fázis között – mind a komplex variszkuszi polifázisos metamorf fejlődési modellt látszanak alátámasztani. E komplex variszkuszi eseménysor első szakaszát jelenthetik a Dél-Dunántúlon már régóta ismert, az Alföld aljzatában újabban M. Tóth (1995) által leírt eklogitok.

A 11. ábra azt mutatja be, hogy szerencsés esetben lehetőség van nemcsak a metamorfózis maximális hőmérsékletéhez közeli végállapotának, hanem az odavezető progresszív pályának a rekonstruálására is. Egy ilyen szerencsés esetnek mondható a dél-dunántúli Baksa-2 jelű mélyfúrás gneisz-amfibolit anyaga. A nagyméretű gránát porfiroblasztok kémiai zónássága, a gránátszemcsékben izoláltan megmaradt ásványzárványok lehetőséget adtak a progresszív pálya rekonstrukciójára, amely pálya szintén lényeges megszakítás (lehűlés) nélküli fejlődést, tehát komplex polifázisos variszkuszi eseménysort bizonyít.

Befejező gondolatok

Egy ilyen, összefoglaló jellegű előadásnál a befejező következtetések levonása nagyon nehéz, mivel az elmondottak zöme már maga is konklúzió volt. Itt csupán két, a Kárpát-medence egészére érvényes fő konklúziót emelünk ki.

1. Az alpi regionális metamorfózis lényeges szerepet játszott Magyarország szinte összes nagyszerkezeti egységében, sokkal nagyobb területekre terjedt ki és változatosabb P–T eloszlású volt a jelenlegi eróziós szinten, illetve a pretercier aljzat felszínén, mint ahogyan azt korábban véltük. Így többek között a Neotethys északi pereméről a jurában levált Tiszai egységet is érte az alpi regionális metamorf (részben retrógrád, részben prográd) hatás, tehát nem játszott „köztes tömeg”-szerepet, hanem az alpi orogén övezet szerves része volt.

2. A Tiszai egység polimetamorf aljzatának prealpi fejlődéstörténetét jelenleg egy komplex variszkuszi polifázisos modell közelíti meg a legjobban. További vizsgálatok szükségesek az alpi és variszkuszi hatások elkülönítése, valamint a prevariszkuszi kéregroncsok kimutatása érdekében.

Irodalom

- Árkai, P. [1973]: Pumpellyite-prehnite-quartz facies Alpine metamorphism in the Middle Triassic volcanogenic-sedimentary sequence of the Bükk Mountains, Northeast Hungary. *Acta Geol. Acad. Sci. Hung.*, 17, 67–83.
- Árkai, P. [1977]: Low-grade metamorphism of Paleozoic formations of the Szendrő Mountains (NE-Hungary). *Acta Geol. Acad. Sci. Hung.*, 21, 53–80.
- Árkai, P. [1983]: Very low- and low-grade Alpine regional metamorphism of the Paleozoic and Mesozoic formations of the Bükkium, NE-Hungary. *Acta Geol. Hung.*, 26, 83–101.
- Árkai, P. [1984]: Polymetamorphism of the crystalline basement of the Somogy-Drava Basin (Southwestern Transdanubia, Hungary). *Acta Miner. Petr. Szeged.*, 26, 129–153.
- Árkai, P. [1987a]: New data on the petrogenesis of metamorphic rocks along the Balaton lineament, Transdanubia, W-Hungary. *Acta Geol. Hung.*, 30, 319–338.
- Árkai, P. [1987b]: Contribution to the knowledge of the polymetamorphic basement of the Great Plain (Pannonian Basin, East Hungary): the environment of the Derecske Depression. *Fragmenta Mineralogica et Palaeontologica*, Budapest, 13, 7–30.
- Árkai, P. [1990]: Very low- and low-grade metamorphic rocks in the pre-Tertiary basement of the Drava Basin, SW-Hungary: mineral assemblages, illite „crystallinity”, b_0 data, and problems of geological correlation. *Acta Geol. Hung.*, 33, 43–67.
- Árkai, P. [1991a]: Alpine regional metamorphism of the different tectonic domains in the Hungarian part of the Pannonian Basin. In Baud, A., Thélin, P., Stampfli, G. [eds.]: *Paleozoic geodynamic domains and their alpidic evolution in the Tethys*. IGCP Project No. 276 Newsletter No. 2. Mémoires de Géologie. Lausanne, No. 10, 5–13.

- Árkai, P. [1991b]: Chlorite crystallinity: an empirical approach and correlation with illite crystallinity, coal rank and mineral facies as exemplified by Palaeozoic and Mesozoic rocks of northeast Hungary. *Journal of Metamorphic Geology*, 9, 723–734.
- Árkai P. [1997]: A kis hőmérsékletű regionális metamorfózis szerepe Magyarország nagyszerkezeti egységeinek fejlődésében. In Haas J. (ed.): *Fülöp József-emlékkönyv*. Budapest, Akadémiai Kiadó, 149–156.
- Árkai, P., Balogh, Kad. [1989]: The age of metamorphism of the East Alpine type basement, Little Plain, W-Hungary: K-Ar dating of white micas from very low- and low-grade metamorphic rocks. *Acta Geol. Hung.*, 32, 131–147.
- Árkai, P., Balogh, Kad., Dunkl, I. [1995a]: Timing of low-temperature metamorphism and cooling of the Paleozoic and Mesozoic formations of the Bükkium, innermost Western Carpathians, Hungary. *Geologische Rundschau*, 84, 334–344.
- Árkai, P., Bérczi-Makk, A., Hajdu, D. [1998]: Alpine prograde and retrograde metamorphisms in an overthrust part of the basement, Great Plain, Pannonian Basin, Eastern Hungary. *Acta Geol. Hung.*, 41, 179–210.
- Árkai, P., Horváth, Z. A., Tóth M. [1981]: Transitional very low- and low-grade regional metamorphism of the Paleozoic formations, Uppony Mountains, NE-Hungary: mineral assemblages, illite-crystallinity, $-b_0$ and vitrinite reflectance data. *Acta Geol. Acad. Sci. Hung.*, 24, 265–294.
- Árkai, P., Horváth, Z. A., Tóth, M. [1987]: Regional metamorphism of the East Alpine type Paleozoic basement, Little Plain, W-Hungary: mineral assemblages, illite crystallinity, $-b_0$ and coal rank data. *Acta Geol. Hung.*, 30, 153–175.
- Árkai, P., Kovács, S. [1986]: Diagenesis and regional metamorphism of the Mesozoic of Aggtelek-Rudabánya Mountains (Northeast Hungary). *Acta Geol. Hung.*, 29, 349–373.
- Árkai, P., Lelkes-Felvári, Gy. [1987]: Very low- and low-grade metamorphic terrains in Hungary. In Flügel, H. W., Sassi, F. P., Grecula, P. (eds): *Pre-Variscan events in the Alpine Mediterranean mountain belts*. Mineralia Slovaca Monography, Alfa, Bratislava, 51–68.
- Árkai, P., Lelkes-Felvári, Gy. [1998]: Metamorphic evolution paths in a detached fragment of the Variscan crust (the Tisza Unit in the Pannonian Basin): theories, data and questions. *Acta Universitatis Carolinae, Geologica*, 42, 205–206.
- Árkai, P., Lelkes-Felvári Gy., Lantai, Cs., Fórizs, I. [1991]: Diagenesis and low-temperature metamorphism in a tectonic link between the Dinarides and the Western Carpathians: the basement of the Igal (Central Hungarian) Unit. *Acta Geol. Hung.*, 34, 81–100.
- Árkai, P., Lelkes-Felvári, Gy., Lantai, Cs.; Nagy, G. [1995b]: Biotite in a Paleozoic metagreywacke complex, Mecsek Mountains, Hungary: conditions of low-T metamorphism deduced from illite and chlorite crystallinity, coal rank, white mica geobarometric and microstructural data. *Acta Geol. Hung.*, 38, 293–318.
- Árkai, P., Nagy, G. [1994]: Tectonic and magmatic effects on amphibole chemistry in mylonitized amphibolites and amphibole-bearing enclaves associated with granitoid rocks, Mecsek Mountains, Hungary. *Acta Geol. Hung.*, 37, 235–268.
- Árkai, P., Nagy, G., Dobosi, G. [1985]: Polymetamorphic evolution of the South-Hungarian crystalline basement, Pannonian Basin: geothermometric and geobarometric data. *Acta Geol. Hung.*, 28, 165–190.
- Árkai, P., Nagy, G., Pantó, Gy. [1975a]: Types of compositional zoning in the garnets of polymetamorphic rocks and their genetic significance. *Acta Geol. Acad. Sci. Hung.*, 19, 17–42.

- Árkai P., Nagy G., Pantó Gy. [1975b]: A ciklusos folyamatok szuperpozíciója (polimetamorfózis) és azok ásványtani kimutatása. *MTA X. Oszt. Közl.*, 8, 383–387.
- Árkai, P., Nagy, G., Pantó, Gy. [1977]: Separation of polymetamorphic phases and determination of their physical conditions by means of mineralogical and geochemical methods. *Materialy XI Kongressa Karpato-Balkanskoj geologicheskoiy asszociacii*, Naukova Dumka, Kiev., 178 p.
- Balázs E. [1975]: A kisalföldi medence paleozóos képződményei. *Földt. Kut.*, 18/4, 17–25.
- Balla, Z. [1988]: On the origin of the structural pattern of Hungary. *Acta Geol. Hung.*, 31, 53–63.
- Balogh K. [1964]: A Bükk hegység földtani képződményei. *Magyar Állami Földtani Intézet Évkönyve*, 48/2, 245–719.
- Balogh, Kad., Kovách, Á., Pécskay, Z., Svingor, É., Árkai, P. [1990]: Very low- and low-grade metamorphic rocks in the pre-Tertiary basement of the Drava Basin, SW-Hungary, II: K-Ar and Rb-Sr isotope geochronologic data. *Acta Geol. Hung.*, 33, 67–76.
- Berman, R.G. [1991]: Thermobarometry using multiequilibrium calculations: a new technique with petrologic applications. *Can. Mineral.*, 29, 833–885.
- Bucher, K., Frey, M. [1994:] *Petrogenesis of metamorphic rocks*. Springer, Berlin, etc., 318 p..
- Csontos, L., Nagymarosy, A., Horváth, F., Kovac, M. [1992]: Tertiary evolution of the Intra-Carpathian area: a model. *Tectonophysics*, 208, 221–241.
- Frey, M. [1969]: *Die Metamorphose des Keupers vom Tafeljura bis zum Lukmanier-Gebiet*. Beiträge zur geologischen Karte der Schweiz, NF 131, 112 p.
- Frey, M. [1988]: Discontinuous inverse metamorphic zonation, Glarus Alps, Switzerland: evidence from illite „crystallinity” data. *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, 68, 171–183.
- Fülöp, J. [1990]: *Magyarország geológiája. Paleozoikum I.* – Magyar Állami Földtani Intézet kiadványa, Budapest, 325 p.
- Fülöp P., Dank V. et al. [1987]: *Magyarország földtani térképe a kainozoikum elhagyásával*. M = 1 : 500 000. A Magyar Állami Földtani Intézet kiadványa.
- Géczy, B. [1973]: The origin of the Jurassic faunal provinces and the Mediterranean plate tectonics. *Ann. Univ. Sci. Budapest. R. Eötvös Nom. Sect. Geol.*, 16, 99–114.
- Haas, J., Császár, G., Kovács, S., Vörös, A. [1990]: Evolution of the western part of the Tethys as reflected by the geological formations of Hungary. *Acta Geod. Geoph. Mont. Hung.*, 25, 325–344.
- Horváth, F. [1993]: Towards a mechanical model for the formation of the Pannonian Basin. *Tectonophysics*, 226, 333–357.
- Kázmér, M., Kovács, S. [1985]: Permian–Paleogene paleogeography along the Eastern part of the Insubric-Periadriatic lineament system: evidence for the continental escape of the Bakony-Drauzug Unit. *Acta. Geol. Hung.*, 28, 71–84.
- Kisházi, P., Ivancsics, J. [1985]: Genetic petrology of the Sopron crystalline schist sequence. *Acta Geol. Hung.*, 28, 191–213.
- Kisházi P.; Ivancsics J. [1987]: Újabb adatok a Sopron környéki leuchtenbergittartalmú metamorfitek keletkezésének problematikájához. *Földt. Közl.*, 117, 31–45.
- Kober, L. [1923]: *Bau und Entstehung der Alpen*. Borntrager, Berlin, 203 p.
- Kovács, S. [1982]: Problems of the „Pannonian Median Massif” and the plate tectonic concept. Contributions based on the distribution of Late Paleozoic – Early Mesozoic isopic zones. *Geol. Rundschau*, 71, 617–640.

A regionális metamorfózis és jelentősége a Kárpát-medence kéregfejlődésében

- Kovács, S., Szederkényi, T., Árkai, P., Buda, Gy., Lelkes-Felvári, Gy., Nagymarosi, A. [1996–1997]: Explanation to the terrane map of Hungary. *Annales Géologiques des Pays Helléniques*, 37, 271–330.
- Lelkes-Felvári Gy. [1978]: A Balaton-vonal néhány permnél idősebb képződményének közettani vizsgálata. *Geol. Hung. Ser. Geol.*, 18, 193–295.
- Lelkes-Felvári, Gy. [1982]: A contribution to the knowledge of the Alpine metamorphism in the Kőszeg-Vashegy area, western Hungary. *N. Jb. Geol. Paleont., Mh.*, 5, 297–305.
- Lelkes-Felvári, Gy., Árkai, P., Sassi, F. P. [1996]: Main features of the regional metamorphic events in Hungary: a review. *Geologica Carpathica*, 47, 257–270.
- Lelkes-Felvári, Gy., Sassi, F. P. et al. [1981]: Outlines of the pre-Alpine metamorphism in Hungary. In Karamata, S., F. P. Sassi (eds.): *IGCP Project No. 5 Newsletter*, No. 3, 89–99.
- Lelkes-Felvári, Gy., Sassi, F. P.; Visona, D. [1984]: Pre-Alpine and Alpine developments of the Austridic basement in the Sopron area (Eastern Alps, Hungary). *Rend. Soc. Ital. Mineral. Petrol.*, 39, 593–612.
- Lóczy L., id. [1918]: Magyarország földtani szerkezete. In *A magyar Szent Korona országainak leírása*. Kilian, Budapest, 43.
- Lóczy, L., sen. [1924]: Geologische Studien im Westlichen Serbien. *Ergebn. Orientcommis. Ung. Akad. Wiss. org. Balkanforschungen. 2. Geologie*. Berlin, Leipzig, 147 p.
- M. Tóth, T. [1995]: Retrograde eclogite in the crystalline basement of the Kőrös Unit, Hungary. *Acta Miner. Petr. Szeged.*, 36, 117–129.
- Pap S. [1990]: *Felpikkelyezett rétegsorok a Közép-Tiszántúlon*. A Magyar Állami Földtani Intézet alkalmi kiadványa, Budapest, 36 p.
- Prinz Gy. [1926]: *Magyarország földrajza I*. Tud. Gyűjt. 15, Danubia, Pécs.
- Szádeczky-Kardoss, E. (editor-in-chief); Árkai, P. (editor), Beck-Mannagetta, P., Boyadjiev, S. G., Kamenicky, J., Stelcl, J., Weiss, J., Juhász, Á., Balázs, E., Kovács, Á., Nagy, E., Ravasz-Baranyai, L., Szalay, Á., Szederkényi, T., Wieser, T., Giusca, D., Savu, H., Kräutner, H., Bercea, I., Semenenko, N. P., Tkachuk, L. G., Danilovich, Yu., Dmitrievic, M., Karamata, S. (authors) [1976]: *Map of Metamorphites of the Carpatho-Balkan-Dinaride Area*. 1:1 000 000. A KBGA, Központi Földtani Hivatal és az MTA Geokémiai Kutatólaboratórium kiadványa, Budapest.
- Szederkényi T. [1984]: *A Nagyalföld kristályos aljzata és földtani kapcsolatai*. Akadémiai doktori értekezés, Budapest.
- Szederkényi, T. [1996]: Metamorphic formations and their correlation in the Hungarian part of Tisia Megaunit (Tisia composite terrane). *Acta Miner. Petr. Szeged.*, 37, 143–160.
- Szederkényi, T., Árkai, P., Lelkes-Felvári, Gy. [1991]: Crystalline basement of the Great Hungarian Plain and South Transdanubia, Hungary. In Karamata, S. (ed.): *Geodynamic evolution of the Pannonian Basin*. Serbian Academy of Sciences and Arts, Academic Conferences, Vol. 42, Department of Natural and Mathematical Sciences Vol. 4, 261–273.
- Török, K. [1998]: Magmatic and high-pressure metamorphic development of orthogneisses in the Sopron area, Eastern Alps (W-Hungary). *N. Jb. Miner. Abh.*, 173, 63–91.
- Wein, Gy. [1969]: Tectonic review of the Neogene-covered areas of Hungary. *Acta Geol. Acad. Sci. Hung.*, 13, 399–436.