

# A Dunántúli-középhegységi egység („Bakony”) takarós helyzete szlovéniai szerkezeti-geokronológiai adatok alapján

*Nappe position of the Transdanubian Range Unit (“Bakony”) based on structural and geochronological data from NE Slovenia*

FODOR László<sup>1</sup> – KOROKNAI Balázs<sup>1</sup> – BALOGH Kadosa<sup>2</sup> – DUNKL István<sup>3</sup> – HORVÁTH Péter<sup>4</sup>

(4 ábra)

*Tárgyszavak:* milonit, Ausztróalpi takaró, miocén, termokronológia, megnyúlás  
*Keywords:* mylonite, Austroalpine nappe, Miocene, thermochronology, extension

## Abstract

Structural, geochronological investigations and re-interpretation of existing geological maps permitted the re-evaluation of the Cretaceous structural position of the Transdanubian Range Unit (TRU, briefly called “Bakony” here). This short study summarises our data published in abstract books, which are relevant to this question. Pre-Cenozoic rocks of NE Slovenia can be grouped into two main structural units (Fig. 1). The lower, medium-grade metamorphic rocks belong to the Middle Parauroalpine Unit. The metapelites (micaschist and paragneiss), amphibolite record amphibolite facies metamorphism occasionally relict eclogitic facies was also demonstrated. These rocks are bounded by a thin “phyllite” zone, representing a strongly tectonised mylonitic zone (TRAJANOVA 2002). The overlying, anchimetamorphic Lower Palaeozoic Magdalensberg sequence is considered as an Upper Austroalpine element. It is covered by non-metamorphic Permo–Mesozoic sediments showing close similarities to the TRU (HAAS et al. 2000).

The investigated metamorphic rocks record prominent mylonitic microfabrics. Kinematic indicators, like extensionally ultracrenulation cleavage, shear bands (Fig. 2), all show top-to-the-NE or –E extensional shearing (Fig. 3). Deformation progressively increasing upward toward the mylonitic “phyllite” zone. Ductile deformation was associated with brittle normal faults and formation of large tilted blocks (Fig. 3).

Thermochronological data suggest two major cooling events (Fig. 4). In the northern Kozjak area muscovite K/Ar ages (102–96 Ma) and zircon fission track ages (27–22 Ma) show fast cooling after mid-Cretaceous metamorphism and some tectono-thermal effects during latest Oligocene to early Miocene. In contrast, in the southern Pohorje area all muscovite and biotite K/Ar ages (19–13 Ma), zircon and apatite fission track ages (19, 10 Ma, respectively) indicate early to mid-Miocene cooling of metamorphic rocks (Fig. 4).

The Late Cretaceous and Miocene ductile exhumation phases are in agreement with Eastern Alpine extensional structures (Fig. 1). In addition, the presented data indicates that prior to exhumation, the TRU (“Bakony”) formed the highest Alpine nappe unit. This conclusion is in complete agreement of earlier assumptions, studies and maps about the nappe position of the TRU (ÁDÁM & ÁDÁM 1973, ÁDÁM et al. 1990, ÁDÁM et al. 1984, CSONTOS in FODOR & CSONTOS 1998, HORVÁTH 1993, TARI 1994, 1996, VÖRÖS & CSONTOS 1992).

<sup>1</sup>Magyar Állami Földtani Intézet, H–1143 Budapest Stefánia 14, fodor@mafi.hu

<sup>2</sup>Magyar Tudományos Akadémia Atommagkutató Intézet, H–4026 Debrecen Bem tér 18/c

<sup>3</sup>Institute of Geology University of Tübingen, Sigwartstrasse 10 Tübingen D–72076 Germany

<sup>4</sup>Magyar Tudományos Akadémia Geokémiai Kutatólaboratórium, H–1112 Budapest Budaörsi út 45.

## Összefoglalás

A korábbi térképek átértelmezése és saját szerkezeti megfigyeléseink alapján Északkelet-Szlovénia pre-kainozoos kőzetei két fő szerkezeti egységbe tartoznak. A Középső-ausztriai egységbe sorolható metamorfitek (Pohorjei és Kobanskoi sorozatok) felett szerkezeti határral a Felső-ausztriai egységbe tartozó, anchimetamorf ópaleozoos Magdalensbergi sorozat következik, amelyre tektonikus határral vagy diszkordanciával észak-karavankai vagy dunántúli-középhegységi jellegű perm-mezozoos üledéksor települ. Megfigyeléseink szerint a fő szerkezeti határok közel vízszintes nyírózónák vagy normálvetők. Így a lapos lecsúszások feletti felső egység (és alegységei) extenziós allochtonként értelmezhetők. Ez a szerkezeti felépítés a Zalai-medencében mélyült fúrásokig követhető, így alapvető a Dunántúli-középhegységi egység megítélésében. A geokronológiai adatok kétfázisú lecsúszást jeleznek a késő-krétában és a miocénben. Eredményeinkből a Dunántúli-középhegységi egység („Bakony”) lecsúszás előtti kréta takarós helyzete következik. Ez a megállapítás összhangban van több korábbi munkával.

## Bevezetés

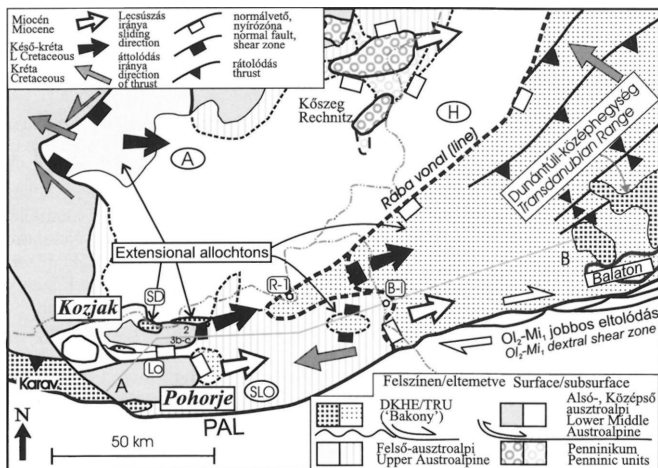
Kétoldalú kormányközi megállapodás alapján, az OMFB Tét Alapítvány támogatásával 1999–2003-ban kutatásokat folytattunk ÉK-Szlovéniában, a Pohorje és a Kozjak-hegységben, illetve a Mura–Zala-medencében. A vizsgálatokba a MÁFI, ELGI, ELTE és a Magyar Tudományos Akadémia laboratóriumai, illetve a Ljubljana Egyetem, a Szlovén Geológiai Szolgálat munkatársai kapcsolódtak be. Rövid tanulmányunk célja e kutatás azon eredményeinek bemutatása, amelyek hatással vannak a Dunántúli-középhegységi egység feltételezett takarós helyzetének megítélésében, és amelyek eddig jórészt csak előadás-kivonatként kerültek publikálásra. A Dunántúli-középhegységnek, mint a Felső-ausztriai egységek felett elhelyezkedő legmagasabb egységnek takaróként való településére korábbi szerzők többféle bizonyítékot is szolgáltatottak. Közleményünkben nem térünk ki ezen értékes munkák részletes elemzésére, hanem saját eredményeink bemutatásával járulunk hozzá a sokat vitatott kérdés megoldásához.

### ÉK-Szlovénia szerkezeti felépítése és határai a Dunántúli-középhegységi egység („Bakony”) felé

A Dunántúli-középhegységi egység (DKHE) („Bakony”) kréta korú szerkezeti helyzetének megítélésében igen fontos lenne az egykorú kréta határok vizsgálata. Közismert probléma, hogy e határok mindegyike (Rába vonal, Diósjenő vonal, Balaton vonal stb.) kainozoos fedő alatt húzódik. Ráadásul, e szerkezeti elemek mindegyike a terciérben deformálódott, vagy eleve csak akkor alakult ki. Kutatásunk megkezdésének egyik mozgatórugója viszont az a feltételezés volt, hogy a DKHE délnyugati határa ÉK-Szlovéniában jól vizsgálható és a kainozoos deformációk nem torzították el teljesen az eredeti, kréta szerkezeti geometriát. Mi több, Szlovéniában a felszínen, egymás szomszédságában tanulmányozhatók a „bakonyi” jellegű perm-triász üledékek és a metamorf kőzetek.

ÉK-Szlovéniában minden eddigi térkép szerint a DKHE határa nem egyenes, ami valószínűleg egy fiatal (tercier) meredek eltolódást vagy normálvetőt jelentene. A vasi, zalai „Bakonyt” ért fúrásokból kiindulva, az egységnek DNY

felé egy „nyúlványa” van, amit a Radkersburg–1 fúrás igazol (FLÜGEL 1988). A „nyúlvány” DNY felé a felszíni Kozjak és Pohorje hegyekig ér (HAAS et al. 2000). Itt a felszínen jelennek meg nem metamorf, perm–mezozoos képződmények kisebb-nagyobb elszigetelt foltokban, a Kozjak tetején, a Pohorje nyugati oldalán, illetve déli és keleti peremén (1. ábra) (MIOČ & ZNIDARČIČ 1976, ZNIDARČIČ & MIOČ 1987). A rétegsorokban perm–alsó-triász kvarcit, középső-, felső-triász dolomit és márgás-meszes senon üledékek jelennek meg szerkezetiileg zavart helyzetben. Az előfordulások közül a Sveti Duh melletti roncsot HAAS et al (2000) a Dunántúli-középhegységi egységbe sorolta (1. ábra). Amennyiben ez a besorolás helytálló, úgy a Kozjak ÉK-i részén a felszínen tanulmányozható a DKHE és más egységek szerkezeti viszonya. Hasonló a helyzet a Pohorje keleti oldalán, ahol ZNIDARČIČ & MIOČ (1987) térképén és saját megfigyeléseink (FODOR et al. 2003b) alapján a Pohorjei sorozatbeli (Középső-Ausztrálpai) amfibolit (retrográd eklogit) mellett redukált triász rétegsor bukkan elő.



1. ábra. A Keleti-Alpok–Dunántúli-középhegység találkozásának egyszerűsített szerkezeti vázlata a kainozoos képződmények elhagyásával, FUCHS (1984), FLÜGEL (1988), TARI (1994, 1996), NEUBAUER et al. (1995), HAAS et al. (2000) és FODOR & KOROKNAI (2000) alapján. A perm–mezozoos foltok a valószínűleg nagyobbak. PAL: Periadriai vonal, Karav.: Északi-Karavankák, Lo: Lovrenc vető, SD: Sveti Duh, perm–mezozoikum. R–1, B–I: Radkersburg–1, Bajánsenye M–I fúrások. A–B a szelvény (4. ábra) hozzávetőleges vonala. A 2. 3b, c. ábrák helyét számok jelzik.

Fig. 1 Simplified tectonic map of the junction of the Eastern Alps and the Transdanubian Range with Cenozoic formations after FUCHS (1984), FLÜGEL (1988), TARI (1994, 1996), NEUBAUER et al. (1995), HAAS et al. (2000) and FODOR & KOROKNAI (2000). PAL: Periadriatic Line, Karav.: Northern Karavanken, Lo: Lovrenc fault, SD: Sveti Duh Permo–Mesozoic. R–1, B–I: Radkersburg–1, Bajánsenye M–I boreholes. A–B broadly corresponds to the section (Fig. 4). Numbers indicate the location of figures 2, 3b, c

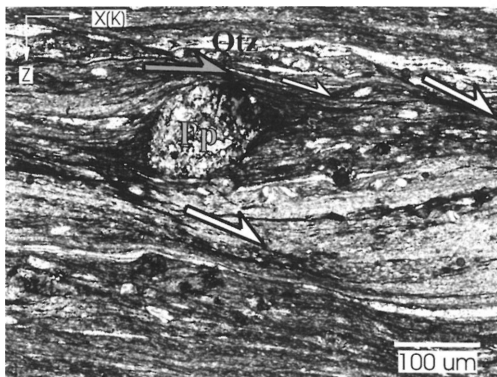
A pohorjei–kozjaki („bakonyi”?) perm–mezozoos rétegsor alatt alsó-paleozoos, gyengén metamorf sorozat található igen kis szerkezeti vastagságban (MIOČ 1977). Ezt a Magdalensbergi sorozatot a Felső-Ausztróalpi egységbe sorolta FUCHS (1984) és FLÜGEL (1988). E sorozat alatt vagy néha közvetlenül a perm–triász képződmények alatt egy „fillit–fillonit” sáv húzódik. Ez jelenti a fő szerkezeti határt az alsóbb, közepes fokú metamorf kőzetek felé (TRAJANOVA 2002). Ez utóbbiak a délebbi elterjedésű Pohorjei és északabbi, erősebb retrográd hatásokat mutató Kobanskoi sorozatra oszthatók a Középső-Ausztróalpi egység részeként (MIOČ 1977, 2003, FUCHS 1984, FLÜGEL 1988). A délebbi sorozat bázisos–ultrabázisos lencsési jobban megőrizték az eredeti eklogit–fáciesű metamorfózist, mint az északi, gyakran erősen retrográd hatást mutató csillámpala, gneisz, amfibolit (MIOČ 1977, JANÁK et al. 2003). A pohorjei jellegű metamorf kőzeteknek északkelet felé, a neogén alatt, a „Bakonyi egységbe” sorolható képződmények keskeny sávjától délre több előfordulásuk ismert (GOSAR 1995) (1. ábra). A legkeletebbi előfordulás Magyarországra is átnyúlik a Bajánsenye M–I fúrásban feltárt kőzetek tanúsága szerint (DANK & FÜLÖP 1990, LELKES-FELVÁRI et al. 2002).

### Szerkezetföldtani adatok

A mezometamorf pohorjei kőzetekben megfigyelt képlékeny szerkezeti elemek közül a relatíve idősebbek térrövidüléssel jellemezhetők (MIOČ 1977). A közel izoklinális vagy erősen zárt redők, palásság kialakulása az alpi takaróképződéshez kapcsolódhatott (de részleteiben nem vizsgáltuk). A fiatalabb képlékeny szerkezetek egyértelműen megnyúlással kapcsolatosak. A kőzetek kézipéldáin a palásság síkjában általában jól megfigyelhető a megnyúlási vonalasság (stretching lineation), amely egyes ásványok orientált elhelyezkedéséből és/vagy megnyúlásából, szétszakadozásából adódik. Azt jelzi, hogy a kőzetek a vonalasság irányában (az adott esetben közel vízszintesen) képlékeny módon megnyúltak, illetve a vonalasságra merőlegesen (közel függőlegesen) vékonyodtak.

A megnyúlási vonalassággal párhuzamos és a palásságra merőleges vékonycsiszolatokban, illetve az ilyen irányú terepi feltárásokban az egyik leggyakrabban megfigyelhető szerkezet a képlékeny elvonzolást mutató nyírási szalagok (shear bands, 2. ábra). Ezekhez társul az ún. extenziós krenulációs palásság (extensional crenulation cleavage; PLATT & VISSERS 1980). Ez utóbbi jellegzetes geometriájú, ritkább elválás a fő palásságot deformálja, amellyel általában 20–40°-t zár be. Az elválási felületek normál elvetést mutató nyírási sík-rendszert alkotnak. Minden képlékeny szerkezet a felső blokkok keleties–északkeleties irányú, normál jellegű lecsúszását jelzi (3. ábra).

A vizsgált területen a deformáció legerősebben a „fillit–fillonit” zónában mutatkozik (FODOR et al. 2002b). Ez a zóna nem más, mint egy lapos milonitos öv (FODOR et al. 2002a, TRAJANOVA 2002), ennek mentén ment végbe a normál jellegű mozgás (lecsúszás) jelentős része. A vékonyodás–lecsúszás következtében a felső Magdalensbergi sorozat vertikális értelemben vett „szerkezeti vastagsága” igen kicsiny lett („kihengerlődött, kicsípődött”), illetve a felette levő perm–mezozoos rétegsor is gyakran alulról csonkolt. Ilyen geometriájú a legtöbb perm–mezozoos



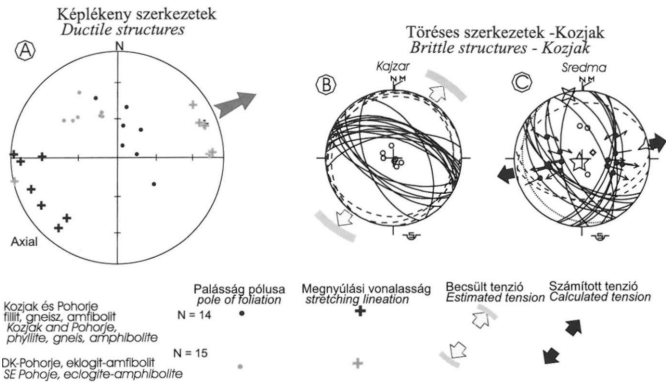
2. ábra. Normál kinematikájú nyírási szalagok erősen milonitos gneiszben, a Kozjak ÉK-i pereméről (FODOR et al. 2002a). A képlékeny szerkezetek a terepi mérések szerint ÉK felé irányuló normál mozgással, közel vízszintes megnyúlással kapcsolatosak. A földpát porfiroklastzt kvarc, csillám környezetben szintén keleties nyírást jelöl. A feltárás felett kb. 50–100 m szerkezeti távolságban már a kibillent kárpáti üledékek következnek. A csillámok 40 millió éves K/Ar kort adtak (FODOR et al. 2003b)

Fig. 2 Shear bands in mylonitic gneiss from the NE margin of the Kozjak Hills (FODOR et al. 2002a). Ductile structures indicate top-to-the-NE extensional shear related to sub-horizontal stretching and sub-vertical shortening. The feldspar porphyroblast within quartz, mica matrix also suggest eastward tectonic transport. Tilted Karpatian sediments occur 50–100 m above the outcrop. Mica K/Ar age is 40 Ma (FODOR et al. 2003b)

felszíni előfordulás, néhány nyugat-pohorjei foltot leszámítva. Például a Sveti Duh (1. ábra) melletti triász előfordulásnál a középső- vagy felső-triász dolomit, ill. karni(?) márga közvetlenül érintkezik a fillittel (milonittal). Hasonló extenziós érintkezéssel értelmezhetők néhány muraszombati fúrásban a metamorfítok felett megjelenő vékony dolomit- és homokkőlelencsék is. Ezek a vékony üledékroncsok nem tartozhatnak a metamorf Pohorjei sorozatba, hanem egy felső, nem metamorf tektonikai egység (DKHE — „Bakony”?) szerkezetiileg kicsipett darabjai lehetnek (GOSAR 1995, FODOR & KOROKNAI 2000).

A képlékeny deformáció mellett törések is megjelennek a metamorf, a permo-meozoos és a fedő miocén kőzetekben. A normálvetők és társult billentett blokkok tágulási iránya a képlékeny nyúlás irányával megegyezik, K-Ny és ÉK-DNy között változik, azaz a két deformációs stílus valószínűleg összekapcsolódott (3. ábra, FODOR et al. 2002a).

A fentebb leírt képlékeny és töréses deformáció együtt jár a talpi blokkok kiemelkedésével és kihülésével, azaz exhumációjával (kitakaródásával). A képlékeny extenziós deformáció ilyen következményét termokronológiai adataink igazolják. A képlékeny és töréses megnyúlás, a vertikális vékonyodás, a talpi blokk kiemelkedése, kihülése és kitakaródása együttesen jellemzi a klasszikus metamorf maghegységeket (metamorphic core complex, WERNICKE 1981, LISTER & DAVIS 1989). Szerkezeti megfigyeléseink azt mutatják, hogy a Pohorje–Kozjak területe is így értelmezhető.



3. ábra. Képlékeny és töréses extenziós szerkezetek. A) megnyúlási vonalasság kétféle kőzetben, a tektonikai transzport irányát nagy nyíl jelzi. B) és C) karc nélküli és vetőkaros törések a Kozjak ÉK-i peremén. A tágulás ( $\sigma_3$ ) becsült és számított iránya (nyilak) hasonló a képlékeny megnyúlás irányához. A tereoframok Schmidt-háló első félgömb vetületén készültek

Fig. 3 Ductile and brittle structures of the Pohorje-Kozjak. A) stretching lineation in two rock types and areas, the large arrow indicate the direction of tectonic transport, B) and C) show faults without and with slickensides form the NE margin of the Kozjak. The direction of tension ( $\sigma_3$ ) is similar to ductile stretching direction. Stereonets use lower hemisphere projection

### Metamorf kőzettani adatok

A szerkezetföldtani vizsgálatokra kiválasztott vékonycsiszolatokban található legfontosabb kőzetalkotó ásványok elektron-mikroszondás mérésével kívántuk meghatározni az alpi metamorfózis nyomás-hőmérséklet (P-T) viszonyait. A Pohorje-hegység területén található eklogit minták maximális nyomás-hőmérséklet (peak P-T) viszonyai 750–850 °C és 34–38 kbar közé esnek, melyek alapján az eklogitok a coesit stabilitási mezőben képződtek, így a területen található bázisos kőzeteket ún. UHP (ultra-nagynyomású) metamorfózis érte (JANÁK et al. 2003). Az eklogitok a retrográd metamorfózis során gránáttartalmú vagy gránátmentes amfibolitokká alakultak, melyek 620–650 °C és 11–13 kbar között képződtek. A Kozjak területéről nem sikerült az eklogit fácies nyomait kimutatni, itt csak amfibolitokat találunk, melyek szövetileg is különböznek a pohorjei metabázitoktól. A metamorfózis végső (retrográd) fázisa a zöldpala fácies körülményei között ment végbe. Érdekes és a nemzetközi szakirodalomban is élénken tárgyalt kérdés, vajon a metabázitokat körülvevő, és a vizsgált terület fő tömegét adó metapélit (csillámpala-gneisz) sorozat is elszenvedte-e az UHP metamorfózist? Az általunk vizsgált nagyszámú metapélit mintából ezt eddig nem sikerült igazolni. A kapott P-T adatok alapján az alpi metamorfózis csúcsa 630–670 °C és 8–15 kbar között volt. A viszonylag konzisztens hőmérsékleti adatokkal

ellentétben a nyomásértékek nagyobb szórást mutatnak, melyet feltehetően a különböző kéregmélységben metamorfizálódott kőzetblokkok utólagos, tektonikus hatásra bekövetkezett egymás mellé kerülése okoz. A metapélit minták esetén a Pohorje és a Kozjak területéről vizsgált minták között nem találtunk az metabázitokhoz hasonló különbséget.

### Termokronológiai adatok

Saját méréseink alapján 11 muszkovit vagy biotit ásványszeparátumon készült K/Ar kor, 4 cirkon hasadványnyom kor; 1, ill. 6 metamorf kőzeten, ill. kárpáti üledékes kőzetek szemcséin mért apatit hasadványnyom kor áll rendelkezésre (4. ábra). A K/Ar módszerrel datált ásványfázisok amfibolit fáciesű paragenezis részét alkotják. Mivel ezek az értékek meghaladják a megfelelő ásványokra jellemző K/Ar záródási hőmérsékletet (300–350 °C) ezért a K/Ar korok minden esetben kihűlési korként értelmezhetők. Mivel a koradatok változóak és területi eloszlás szerint jellemzőek, ezért külön tárgyaljuk azokat a Pohorjére és a Kozjak hegyekre.

A Pohorjében a legmagasabb hőmérsékleten záródó gránát Sm/Nd rendszer egyértelműen a krétában rögzíti a metamorfózis csúcspontját, illetve a kihűlés kezdeti fázisát (93–87 Ma, THÖNI 2002). 7 neogén K/Ar koradatunk (19–13 Ma) a Pohorje keleti és déli szegélyéről, illetve 1 adat a Mura-medencebeli GB-1 fúrás neogén üledékek alatti csillámpalájából származik (4. ábra). Minden mintában a datált csillámok többnyire duktilis extenziós szerkezetek részei. Ezért úgy véljük, hogy a kapott miocén koradatok a Pohorje neogénben bekövetkezett képlékeny extenzióját és a talpi metamorf blokk miocénben bekövetkezett jelentős hűlését igazolják. Ezt az értelmezést egy-egy cirkon és apatit fission track adat is alátámasztja: ezek szintén miocén kihűlést jeleznek ~250, ill. ~110–80 °C alá, 19 és 10 millió évvel ezelőtt.

Ugyancsak a kora-miocénben végbemenő gyors lehűlésre utal, hogy a Pohorje közvetlen északi és északkeleti szegélyén a kárpáti üledékek szemcséinek hasadványnyom kora 19,5–22,3 millió év közötti kort mutat (SACHSENHOFER et al. 1998). Ez a leülepedés 18–17 millió éves koránál csak 1,5–5 millió évvel több, ezen időintervallum alatt kerültek a pohorjei kőzetek ~110–80 °C hőmérsékletű mélységtartományból a felszínre.

A Pohorje adataival szemben, a Kozjából származó muszkovit-minták azt mutatják, hogy itt a kréta metamorfózist követően gyors és jelentős kihűlés történt 102–96 Ma évek között a datált ásványra jellemző 350 °C záródási hőmérséklet alá (4. ábra). A hűlés kapcsolatban volt a korai extenziós deformációval, melynek során lapos dőlésű milonitos nyírózónák alakultak ki. A mozgás következtében a milonitos („fillit-fillonit”) zóna helyenként közvetlen a perm–mezozoos összlet alá emelkedett. Három cirkon fission track koradat késő-oligocén–kora-miocén kort mutat (27, 25, 22 Ma). Ez a hőtörténeti esemény egyrészt kapcsolható a Periadriai vonal menti magmatizmust követő általános kihűléshez. Az is lehet azonban, hogy ekkor indult meg a mélyebb helyzetű alpi takarók további kitakaródása (exhumációja), ill. kihűlése. A kréta lapos lecsúszósíkok felújulására utal az egyik milonitos képlékeny nyírózóna





40 millió éves K/Ar muszkovit kora. Ezt – valószínűleg – kevert korként értelmezhetjük: az egyik populáció a kréta metamorfózisból, míg a másik a késő-oligocén–kora-miocén felújulással kapcsolatban keletkezett. Lehetséges, hogy a paleogén kor csak a K/Ar rendszer időleges, krétánál fiatalabb felnyílását mutatja, de ez is fiatal (miocén) hőhatást (vagy tektonikai hatást) sejtet.

Újramozgó nyírózónákkal kapcsolatos plusz hőhatásra utalhat az is, hogy a Kozjak ÉK-i oldalán a nyírózónák feletti kárpáti üledékekben igen magas vitrinit-reflexió értékeket mért SACHSENHOFER et al. (1998). A kárpáti üledékek apatit hasadványnyom kora 12,5–17 millió év, ami a leülepedésnél fiatalabb kor (SACHSENHOFER et al. 1998). Ezt az egykori „lenullázódást” is az üledékképződés utáni felmelegedés hozta létre. A közvetlen környezetben megfigyelt töréss, illetve töréss–képlékeny deformáció a milonitos zóna reaktivációjával további „meleg” metamorf kőzeteket hozott a felszín, illetve a neogén üledékek talpa közelébe (FODOR et al. 2003a, b), és ez lehetett az advektív módon szállított hő forrása (DUNKL et al. 1998).

A Pohorje és a Kozjak közötti határt a Pohorje északi peremén húzódó Lovrenc vető adja (1, 4. ábra). Ennek levett szárnyán kárpáti üledék alól bukkan ki a Kozjak szétszúzott takarórendszere. Geokronológiai adataink alapján úgy tűnik, hogy a Kozjak levett tömbjét (az ÉK-i szegély kivételével) a miocénben már nem érte jelentős kiemelkedés, már a krétában jórészt a töréss deformációs tartományba emelkedett (kihült). Ezzel szemben, a Lovrenc vető déli (pohorjei) talpi tömbje a miocénben szenvedett jelentős kiemelkedést (4. ábra).

### Diszkusszió, következtetések

Szerkezeti vizsgálatainkból egyértelmű, hogy a Pohorje–Kozjak képződ-ményeit erős extenziós hatás érte. A képlékeny megnyúlás lapos nyírózónák (milonitos övek), illetve normálvetők kialakulásához vezetett. A képlékeny tágulás és vele kapcsolatos kitakaródás-exhumáció együttes jelenléte alapján a Pohorje–Kozjak metamorf maghegységként értelmezhető. A megfigyelt szerkezeti kép azt is jelenti, hogy a felső-ausztróalpi Magdalensbergi sorozat és a „bakonyi” jellegű, (vagy egyenesen azzal egyező) perm–mezozoos rétegsor extenziós allochtonként helyezkedik el („úszik”) mai aljzata felett. Hasonlóan értelmezhetők a muraszombati fúrásokból ismert dolomitlencsék is. Az extenziós szerkezeti geometria a Zalai-medencéig követhető, ahol a Bajánsenye M–I és az őriszentpéteri fúrások között a pohorjei metamorf és „bakonyi” perm–mezozoos egységek normálvető mentén érintkeznek (TARI 1994). A bajánsenyei fúrásban megfigyelt milonitok is a felszíni extenziós deformációval mutatnak rokonságot (LELKES-FELVÁRI et al. 2002).

A termokronológiai adatok alapján az extenziós lecsúszás, illetve az ezt kísérő talpi exhumáció két időszakban történt. A Kozjakban és a Zalai-medence aljzatában inkább a kréta (LELKES-FELVÁRI et al. 2002), a Pohorjében a miocén kor valószínű. A kréta nyírózónák a Kozjakban és a Zalai-medencében is reaktiválódhattak a miocénben, amire az említett kozjaki bizonyítékok és a Mura–Zalai-

medence legmélyebb miocén félárkának megjelenése utal (TARI 1994, FODOR et al. 2002b).

A Pohorje–Kozjak valamint a DKHE között fenálló szerkezeti-geokronológiai helyzet sok szempontból analóg a szomszédos Ausztróalpi- és Pennini egységekkel, ahol a felsőbb szerkezeti egységek extenziós allochtonként jelennek meg (NEUBAUER et al. 1995, KOROKNAI et al. 1999, TARI 1994, 1996). Ez a mai helyzet csak úgy jöhetett létre, ha az extenziós allochtonok egykor takarók voltak. Ez az Alpok esetében nem kérdéses, míg a fenti adatok a Dunántúli-középhegységi egységre is igazolják annak takarós helyzetét. Megállapításunk teljes összhangban van a DKHE („Bakony”) takarós helyzetét mutató korábbi tanulmányokkal és bizonyítékokkal (ÁDÁM & ÁDÁM 1973, ÁDÁM et al. 1990, ÁDÁM et al. 1984, HORVÁTH 1993, TARI 1994, 1996), illetve a „Bakony” takaróként ábrázoló térképekkel (VÖRÖS & CSONTOS 1992, CSONTOS in FODOR & CSONTOS 1998).

A Dunántúli-középhegységi egység felső szerkezeti egységként, takaróként való értelmezését támasztja alá az északnyugati szomszédságban, a Kisalföld alatti metamorf egység(ek)ben mért geokronológiai adatok (ÁRKAI & BALOGH 1989, TARI 1994). A változatos, paleozoos–mezozoos kihülési korok közül a legfiatalabb, 116 millió éves K–Ar kor a takarós eltemetődéssel, azaz a DKHE áttolódásával lehet kapcsolatban (TARI 1994, FODOR & KOROKNAI 2000). A DKHE legfelső szerkezeti helyzetét támogatja, hogy az egység belsejében, annak alsó részén levő paleozoos kőzetek nem szenvedtek kréta metamorf hatást, megőrizték eredeti vaizskuzsi kihülési korukat (LELKESNÉ FELVÁRI et al. 1994). A kréta deformációt a Bakony szinklinális szerkezete, pikkelyei (HAAS 1996), illetve az albai, turon deformációkat követő lepusztulási felszínek (KAISER 1997) és lepusztulási termékek (bauxit) jelzik. A posztdeformációs lepusztulással, felszíni oxidációval lehetnek kapcsolatban azok a kréta 105–91 millió éves K/Ar korok, melyek a jura mangánérces sorozatból ismertek (GRASELY et al. 1994).

A Dunántúli-középhegységi egység mai, „normálvetős” helyzete a kréta és a miocén lecsúszások miatt alakult ki. A „Bakony” miocén lecsúszását TARI et al. (1992) és TARI (1994, 1996) szeizmikus szelvények alapján, míg DUNKL & DEMÉNY (1997) a mélyebb szerkezeti helyzetű Penninikum miocén kihülésének kimutatásával igazolta. Tanulmányunk ezt a szerkezeti geometriát, ill. fejlődéstörténetet egészíti ki DNY felé térben és a késő-kréta lecsúszás felé időben.

### Köszönetnyilvánítás

A kutatást a szlovén–magyar bilaterális együttműködés SLO 6/98 és 15/2000 számú Tét projektjei, valamint BALOGH Kadosa OTKA pályázata támogatták. FODOR László a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János ösztöndíjasa 2001-től. A terepi munkánkat B. JELEN, P. MIOČ, H. RIFELJ, M. TRAJANOVA, Mirijam és Marko VRABEC, N. ZUPANČIČ (Szlovénia), MÁRTON E. és IMRE G. (ELGI, Budapest) segítette. TARI Gábor (Houston, Texas, USA) ötletei és biztatása jelentősen motíválták a munka elkezdését (1995–1998). A kézirat lektorálásáért HAAS Jánost és ÁDÁM Antalt illeti köszönet.

## Irodalom – References

- ÁDÁM, A. & ÁDÁM, O. 1973: On the investigations of deep structures in the area of the Transdanubian Central Mountains. – *Acta Geodaetica Geophysica et Montanistica* 8, 473–482.
- ÁDÁM, A., NAGY, Z., NEMESI, L. & VARGA, G. 1990: Crustal conductivity anomalies in the Pannonian basin. – *Acta Geodaetica Geophysica et Montanistica* 25, 279–290.
- ÁDÁM O., HAAS J., NEMESI L., REDLERNÉ TÁTRAI M., RÁNER G. & VARGA G. 1984: Az M<sub>k</sub>-1 vonalon végzett magnetotellurikus és szeizmikus mérések eredményei. – *MÁELGI Évi Jelentése* 1983, 37–42.
- ÁRKAI, P. & BALOGH, K. 1989: The age of metamorphism of the East Alpine type basement, Little Plain, West Hungary: K/Ar dating of K-white micas from very low- and low-grade metamorphic rocks. – *Acta Geologica Hungarica* 32, 131–147.
- DANK V. & FÜLÖP J. (szerk.) 1990: Magyarország szerkezetföldtani térképe, 1:500 000. – MÁFI.
- DUNKL, I. & DEMÉNY, A. 1997: Exhumation of the Rechnitz Window at the border of Eastern Alps and Pannonian basin during Neogene extension. – *Tectonophysics* 272, 197–211.
- DUNKL, I., GRASEMANN, B. & FRISCH, W. 1998: Thermal effects of exhumation of a metamorphic core complex on hangingwall syn-rift sediments – an example from the Rechnitz Window, Eastern Alps. – *Tectonophysics* 297, 31–50.
- FODOR L. & CSONTOS L. 1998: Magyarországi szerkezetföldtani kutatások és ezek legújabb eredményei. – *Földtani Közlöny* 128, 123–143.
- FODOR, L. & KOROKNAI, B. 2000: Tectonic position of the Transdanubian Range unit: A review and some new data. – *Vijesti Hrvatskoga geološkog društva* 37, 38–40.
- FODOR, L., JELEN, B., MÁRTON, E., RIFELJ, H., KRALJIĆ, M., KEVRIĆ, R., MÁRTON, P., KOROKNAI, B. & BÁLDI-BEKE, M. 2002a: Miocene to Quaternary deformation, stratigraphy and paleogeography in Northeastern Slovenia and Southwestern Hungary. – *Geologija* 45, 103–114.
- FODOR, L., JELEN, B., MÁRTON, E., ZUPANČIČ, N., TRAJANOVA, M., RIFELJ, H., PÉCSKAY, Z., BALOGH, K., KOROKNAI, B., DUNKL, I., HORVÁTH, P., HORVATH, A., VRABEC, M., KRALJIĆ, M. & KEVRIĆ, R. 2002b: Connection of Neogene basin formation, magmatism and cooling of metamorphic rocks in NE Slovenia. – *Geologica Carpathica* 53, spec. issue, 199–201.
- FODOR, L., BALOGH, K., DUNKL, I., PÉCSKAY, Z., KOROKNAI, B., TRAJANOVA, M., VRABEC, M., VRABEC, M., HORVÁTH, P., JANÁK, M., LUPTÁK, B., FRISCH, W., JELEN, B., & RIFELJ, H. 2003a: Structural evolution and exhumation of the Pohorje-Kozjak Mts., Slovenia. – *Annales Universitatis Scientiarum Budapestiensis de Rolando Eötvös Nominatae* 35, 118–119.
- FODOR L., ZUPANČIČ N., MÁRTON, E., TRAJANOVA, M., BALOGH K., PÉCSKAY, Z., KOROKNAI B., DUNKL I., HORVÁTH, P., VRABEC, M., VRABEC, M., JELEN, B., HORVATH, A. & RIFELJ, H. 2003b: Miocene exhumation of the Pohorje-Kozjak Mts., Slovenia (Alpine-Pannonian transition). – *Geophysical Research Abstracts* 5, EAE03–11814.
- FLÜGEL, H. W. 1988: Steirisches Becken – Südburgenlandische Schwelle – Geologische Karte des prätertiären Untergrundes, 1:200 000. – Geol. Bundesanstalt, Wien.
- FUCHS, W. 1984: Grosstektonische Neuorientierung in den Ostalpen und Westkarpaten unter Einbeziehung plattentektonischer Gesichtspunkte. – *Jahrb. Geol. Bundesanst.* 127, 571–632.
- GOSAR A. 1995: Modelling of seismic reflection data for underground gas storage in the Pecarovci and Dankovci structures–Mura depression. – *Geologija* 37–38, 483–549.
- GRASSELY, Gy., BALOGH, K., TÓTH, M. & POLGÁRI, M. 1994: K/Ar age of manganese oxide ores of Úrkút, Hungary: Ar retention in K-bearing Mn minerals. – *Geologica Carpathica* 45, 3675–373.
- HAAS J. (szerk.) 1996: Magyarországi szerkezetföldtani térképe című térképlapokhoz. – Magyar Állami Földtani Intézet térképmagyarozói 186 p.
- HAAS, J., MIOČ, P., PAMIĆ, J., TOMLJENOVIC, B., ÁRKAI, P., BÉRCZI-MAKK, A., KOROKNAI, B., KOVÁCS, S. & RÁLSCH-FELGENHAUER, E. 2000: Complex structural pattern of the Alpine-Dinaridic-Pannonian triple junction. – *Int. Jour. of Earth Sci. (Geol. Rundsch.)* 89, 377–389.
- HORVÁTH, F. 1993: Towards a mechanical model for the formation of the Pannonian basin. – *Tectonophysics* 225, 333–358.
- JANÁK, M., VRABEC, M., HORVÁTH, P., KONEČNÝ, P. & LUPTÁK, B. 2003: High-pressure to ultrahigh-pressure metamorphism of kyanite eclogites from Pohorje, Slovenia: microtextural and thermobarometric evidence. – *Geophysical Research Abstracts* 5, EAE03–08468.

- KAISER, M. 1997: A geomorphic evolution of the Transdanubian Mountains, Hungary. – *Zeitschrift für Geomorphologie Suppl.* Bd. 110, 1–14.
- KOROKNAI, B., NEUBAUER, F., GENSER, J. & TOPA, D. 1999: Metamorphic and tectonic evolution of the Austroalpine units at the western margin of the Gurktal Nappe complex, Eastern Alps. – *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.* 79, 277–295.
- LELKES-FELVÁRI, Gy., SASSI, R. & ZIRPOLI, G. 1994: Lithostratigraphy and Variscan metamorphism of the Paleozoic sequences in the Bakony Mountains, Hungary. – *Mem. Sci. Geol. Padova* 46, 303–312.
- LELKES-FELVÁRI, Gy., SASSI, R. & FRANK, W. 2002: Tertiary S–C mylonites from the Bajánsenye–B–M–I borehole, Western Hungary. – *Acta Geol. Hung.* 45, 29–44.
- LISTER, G. S. & DAVIS, G. A. 1989: The origin of metamorphic core complexes and detachment faults formed during Tertiary continental extension in the northern Colorado River region, U.S.A. – *Journal of Structural Geology* 11, 65–94.
- MIOČ P. 1977: Geologic structure of the Drava Valley between Dravograd and Selnica. – *Geologija* 20, 193–230.
- MIOČ, P. 2003: Outline of the geology of Slovenia. – *Acta Geologica Hungarica* 46, 3–27.
- MIOČ, P. & ZNIDARČIČ, M. 1976: Geological map of Yugoslavia, scale 1:100 000, sheet Slovenj Gradec. – Geol. Surv. of Yugoslavia, Beograd.
- NEUBAUER, F., DALLMAYER, R. D., DUNKL, I. & SCHIRNIK, D. 1995: Late Cretaceous exhumation of the metamorphic Gleinalm dome, Eastern Alps: kinematics, cooling history and sedimentation response in a sinistral wrench corridor. – *Tectonophysics* 242, 79–88.
- PLATT, J. P. & VISSERS, R. L. M. 1980: Extensional structures in anisotropic rocks. – *Journal of Structural Geology* 2, 397–410.
- SACHSENHOFER, R. F., DUNKL, I., HASENHÜTTL, C. & JELEN, B. 1998: Miocene thermal history of the southwestern margin of the Styrian Basin: vitrinite reflectance and fission-track data from the Pohorje/Kozjak area (Slovenia). – *Tectonophysics* 297, 17–29.
- TARI, G. 1994: Alpine Tectonics of the Pannonian basin. – PhD. Thesis, Rice University, Houston, Texas, USA, 501 p.
- TARI, G. 1996: Extreme crustal extension in the Rába river extensional corridor (Austria/Hungary). – *Mitt. Gesell. Geol. Bergbaustud. Österreich* 41, 1–18.
- TARI, G., HORVÁTH, F. & RUMPLER, J. 1992: Styles of extension in the Pannonian Basin. – *Tectonophysics* 208, 203–219.
- THÓNI, M. 2002: Sm–Nd isotope systematics in garnet from different lithologies (Eastern Alps): age results, and an evaluation of potential problems for garnet Sm–Nd chronometry. – *Chemical Geology* 185, 255–281.
- TRAJANOVA, M. 2002: Significance of mylonites and phyllites in the Pohorje and Kobansko area. – *Geologija* 45, 149–162.
- VÖRÖS, A. & CSONTOS, L. 1992: Mesozoic plate-tectonic reconstruction of the Alpine-Carpathian-Pannonian region, part II: plate-tectonic reconstruction. – *Terra Nova*, Abstract Supplement 4, p. 69.
- WERNICKE, B. P. 1981: Low-angle normal faults in the Basin and Range province: nappe tectonics in an extending orogen. – *Nature* 291, 645–647.
- ZNIDARČIČ, M. & MIOČ, P. 1987: Geological map of the sheet Maribor in Leibnitz, 1:100 000. – Geol. Survey of Ljubljana, Ljubljana, Federal Geological Survey, Beograd.
- Kézirat beérkezett: 2003. 08. 14.