

## A magyar tektonikai gondolkodás fejlődése a Balaton és környéke kutatásának tükrében

HORVÁTH Ferenc<sup>1</sup>, DOMBRÁDI Endre<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ELTE Földrajz- és Földtudományi Intézet, Geofizikai és Űrtudományi Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c, frankh@ludens.elte.hu

<sup>2</sup>Netherlands Research Centre for Integrated Solid Earth Science (ISES), VU University, De Boelelaan 1085, 1081HV Amsterdam, The Netherlands

---

### *Evolution of Hungarian tectonics: an overview of a century of research on and around Lake Balaton*

#### Abstract

Early concepts in Hungarian tectonics were born about a century ago as a result of exploration of Lake Balaton and its surroundings conducted by Lajos LÓCZY.

The papers collected in the present volume deal with the tectonic studies of the past decade around Lake Balaton. Therefore, it was considered necessary to review the early tectonic concepts in the light of contemporary knowledge in a comparative manner. First, an overview of the fixistic median mass (Zwischengebirge) concept is given and its early mobilistic alternative is also presented. Some of the subsequent geological results favouring a mobilistic interpretation are analyzed, and the major contribution of seismic surveys and deep drillings for establishing the Alpine nappe structure of the Transdanubian Range is emphasized.

Another early concept explained the formation of the Pannonian Basin in terms of the subsidence of blocks bounded by a longitudinal and a meridional set of faults. It was also thought that the present surface morphology, particularly a meridional system of valleys and ridges, was controlled by these faults. An early alternative view rejected this block-faulting and, instead, suggested regional scale-folding in the basin, and wind erosion as a primary mechanism of surface evolution. The new data gathered on the neotectonic evolution of the Pannonian Basin relies on seismic mapping of the young deformational features and the determination of the present day stress field. It is concluded that reactivation of Miocene synrift faults and/or Cretaceous compressional detachment planes has occurred and has resulted in folding at the south-western periphery, and regional strike-slip faulting all over the basin and surrounding mountains. Thus wind erosion as a main mechanism of Holocene surface evolution in the Pannonian Basin can be regarded as undoing a process of revival.

*Keywords: Lajos Lóczy, Lake Balaton, tectonics, Pannonian Basin*

---

#### Összefoglalás

A magyar tektonika fontos korai eredményei a Balaton és környezete kutatásának során több mint egy évszázada születtek meg és LÓCZY Lajos nevéhez kapcsolódnak. A Balaton és környékének tektonikájával foglalkozó kötet bevezető cikkeként elengedhetetlennek tartjuk, hogy a korai munkák mai tudásunkkal való összehasonlító értelmezését megtegyük. Ebben a cikkben áttekintjük a közbelső tömeg koncepció alapjait és bemutatjuk annak korabeli mobilista alternatíváját. Felsoroljuk azokat a legfontosabb eredményeket, amelyek arra vezettek, hogy a Dunántúli-középhegységet ma takarós felépítésűnek és az ausztróalpi rendszer szerves részének tekintjük.

A Pannon-medence fiatal tektonikájának kérdésében máig ható koncepció a vonalas geomorfológiai elemek, elsősorban a zalai–somogyi meridionális völgyek tektonikai preformáltságának az elképzelése volt, amelyhez a töréses tektonika uralkodó szerepének a hangsúlyozása társult. Bemutatjuk, hogy ezzel az elképzeléssel, a hazai szénhidrogén-kutatás kezdetét követően, hogyan álltak szemben a gyűrt szerkezetek térképezése során keletkezett eredmények. Ezen ellentmondás feloldásában a geofizikának tulajdonítjuk a döntő szerepet, amely a szerkezeti viszonyok szeizmikus leképezésével és a deformációkat létrehozó feszültségtér meghatározásával az elképzelések szintjéről a tények talajára helyezte a Pannon-medence neotektonikáját. Eszerint a negyedidőszaki kompressziós feszültségtér hatására a medence DNy-i részét gyűrődés, míg a többi medencerészt KÉK–NyDNy csapású balos oldalelmozdulásos tektonika jellemzi. A szél döntő szerepe a recens felszínfejlődésben ismét a szakmai érdeklődés előterébe került.

*Tárgyszavak: Lóczy Lajos, Balaton, tektonika, Pannon-medence*

## Bevezetés

A tudomány mindenkori állását és aktuális paradigma-rendszerét csak úgy lehet érdemben megérteni és ezúton további fejlődésének irányait kijelölni, ha ismerjük a legfontosabb elvek és koncepciók kialakulásának és változásának történetét.

A magyar tektonikai gondolkodás fejlődésének néhány fontos kérdését tekintjük át ebben a dolgozatban a Balaton, valamint a kapcsolódó hegyvidéki és dombvidéki területek kutatása alapján született — sokszor markánsan ütköző — koncepciók értékelésével. Célunk volt az is, hogy a bemutatott szerkezetfejlődési koncepciókat, a mai tudásunk tükrében értelmezve elemezzük. Mivel az értékelés viszonyítási alapja mai tudásunk, ezért elkerülhetetlen bizonyos mértékű szubjektivitás úgy az értékek, mint az értékeremtő szakemberek megítélésében.

### A közbenső tömeg koncepció: a fixizmus születése

A hazai geológia felvirágzása a magyar gazdaság és társadalom egyik legtermékenyebb időszakához, a kiegyezéstől az I. világháborúig tartó közel félévszázadhoz kötődik. Ekkor élt és alkotott LÓCZY Lajos (1849–1920), akit két tudományterület a földtan és a földrajz is kiemelkedő tudósának tart. 1889-től 1909-ig a budapesti tudományegyetemen az Egyetemes Földrajz Tanszék vezető professzora volt. Ekkor kezdte el világra szóló vállalkozását a Balaton tudományos tanulmányozását, amelynek szellemi vezére és fáradhatatlan szervezője volt. Már betöltötte hatvanadik életévét, amikor BÖCKH János nyugalomba vonulása után felkérték a Magyar Királyi Földtani Intézet igazgatójának. Igazgatóként a magyar föld különböző hegységeinek (Gerecse, Vértes, Bükk és Mecsek) monografikus feldolgozását indította el és vezetésével intenzív kutatómunka kezdődött a Bihar-hegységben, Erdélyben, a

Keleti- és az Északi-Kárpátokban, majd a világháború idején Nyugat-Szerbiában.

Mindezen kutatások nagytektonikai esszenciája a **közbenső tömeg** koncepció volt, amelynek LÓCZY a szülőatyja, bár az elnevezés csak később született meg. Az eredeti koncepció célja volt megadni a magyar föld különleges helyzetének magyarázatát az alpi orogén övben. Magyarázatot kíván ugyanis az a helyzet, miszerint az alpi hegyláncok egymás mellett futó ágai szétágaznak, majd ismét egyesülve egy közbenső és fiatal üledékkal nagymértékben fedett, és láthatólag gyengén deformált tömeget ölelnek körbe. LÓCZY (1918, 1920) magyarázatának lényegi elemei a következők voltak:

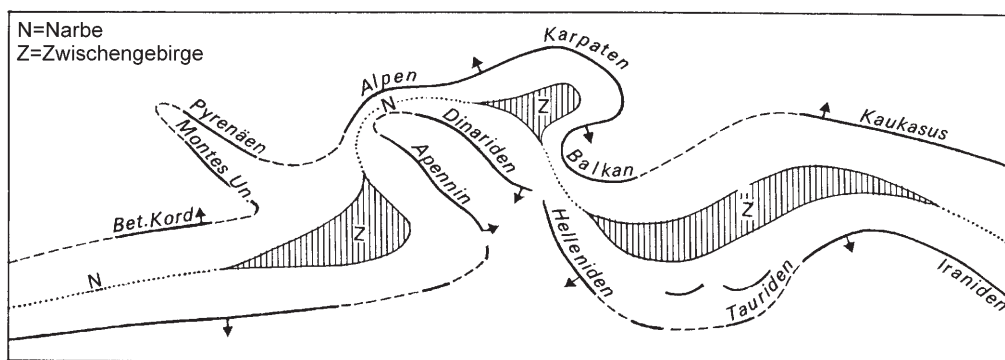
a) A körülölelt tömeg egy merev altáida–variszkuszi masszívum maradványa, amely eredetileg a Rodope-masszívummal volt összekötésben.

b) A késő-paleozoikumtól a miocén elejéig ez a nagy-kiterjedésű masszívum emelkedett a magyar medence helyén. Ebben öböként nyomultak be a paleozoos és mezozoos tengerárok, amelyek transzgressziói és regressziói hozták létre a különböző fáciesű tengeri és szárazföldi üledékes kőzetek egymás melletti és feletti váltakozását.

c) Ezt a kiemelt belső hegységet soha nem érte erős alpi deformáció, csak helyenként vannak az idősebb mezozoos rétegek enyhe boltozatokba és teknőkbe gyűrve.

d) A belső tömeget körülölelő hegységkioszorú külső övei (alapvetően a flisösszlet) igazi geosinklinális képződmények, amelyek alpi deformációk hatására gyűrt-takarós rendszert alkotnak. Általános szabályként megállapítható, hogy a tektonikai aktivitás kora a medence belsejéből kifelé haladva a késő-krétától a pliocénig fokozatosan fiatalodik.

A magyar, és tegyük hozzá a közép- és kelet-európai nagytektonikai gondolkodást az 1920–1970-es évek között alapvetően a közbenső tömeg koncepcióhoz való viszonyulás határozta meg. Ennek fő oka az volt, hogy LÓCZY-t követően KOBER (1921, 1928) a koncepciót általánosította és azt a fixista iskola hegységképződési elméletében központi szereplővé tette (1. ábra). Az ő elnevezése volt a „köztes



1. ábra. A fixista iskola sémája az alpi hegységrendszerről (KOBER 1921)

Kompressziós orogén fázisok során a merev közbenső hegységet (Z) körülölelő plasztikus anyagok felgyűrődnek és kifelé irányuló (nyilak) takarókat hoznak létre (alpi-típusú tektonika). A közbenső hegységben csak töréses (germán-típusú) szerkezetek alakulnak ki. Ott ahol nincs közbenső hegység az ellentétes vergenciájú takarós tartományokat elválasztó vonalat sebhelynek (N) nevezték

Figure 1. Structural scheme of the European Alpine belt according to the fixist school of thought (KOBER 1921)

During episodes of compression the plastic material around the rigid median masses (Z) are folded and thrust outward (see arrows) to form nappes (Alpine-type tectonics). The deformation of the rigid median mass is dominated by block-faulting (German-type tectonics). In the absence of a median mass, the boundary of the opposite-vergent nappe domains is a suture zone (N)

hegység” (Zwischengebirge), amelyet BÖCKH Hugó (1930) keresztelt át „közbenső tömegre” (median mass): „A közbenső tömeg elnevezés jobb a Zwischengebirge-nél. A Karib tenger és a Pannon medence mindkettő közbenső tömeg, de az egyiket tenger borítja, a másik lényegileg síkság, úgy hogy a Gebirge = hegység elnevezés nehezen alkalmazható rájuk. A közbenső tömegekre jellemző az, hogy azokban nem észlelhetők alpi típusú mozgások, azokban a Stille által germán típusúnak nevezett tektonika van meg. Ez nem zárja ki azt, hogy lokálisan rátolódások ne fordulhassanak elő.”

A másik névadó PRINZ Gyula (1926), aki a magyar közbenső tömeget Tisia névre keresztelte, határait és szerepét tovább hangsúlyozta. A következőket írta: „Az Alpok kelet felé kiszélesednek ... az egész redőzt szégyílik, olló alakkal szétágazik. Az északi ág átmege a Kárpátokba, a déli a Dinaridákba, s így a kettő közrefogja a Tisia tömböt. A Tisia tömb így beékelődik az Alpok közé...” Ez tulajdonképpen a híres „kaptafa” modell, amely a közbenső tömeg merevségét és idegenségét az alpi orogénen belül a legszélsőségesebben fogalmazta meg.

### A Dunántúli-középhegység szerkezete: fixista és mobilista koncepciók ütközése

A magyar közbenső tömeg koncepció kialakulásával párhuzamosan megszületett annak mobilista alternatívája is UHLIG Viktor (1907) jóvoltából<sup>1</sup>. Uhlig Viktor 1857-ben született Osztrák-Sziléziában. A grazi egyetemen Peters Károlytól tanult mineralógiát és geológiát, majd Suess Ede és NEUMAYR Menyhért tanítványa és munkatársa volt Bécsben. 1891-ben a prágai német műegyetem Ásvány- és Földtani Tanszékére nevezték ki rendes tanárnak. Itt tartózkodásának kilenc éve alatt lett a Kárpátok geológiájának legjobb ismerője, és ezért volt elhivatott arra, hogy az 1903-ban Bécsben megtartott IX. geológiai világkongresszuson e hegység monográfiáját bemutassa (UHLIG 1903).

Izgalmas esemény volt ez, mert a legkülső flistakaróktól eltekintve az egész kárpáti területet fixista szemlélettel tárgyaló monográfia éles ellentétben állt a kongresszuson kifejtett új, mobilista alpi tektonikai koncepcióval (TERMIER 1903). Az ott történetekről és a következményekről SCHAFARZIK Ferenc számolt be a Magyarhoni Földtani Társulat 1912-es közgyűlésén tartott elnöki megnyitó beszédében, amelyben a sajnálatosan korán (54 évesen) elhunyt tudósbarátról, Uhlig Viktorról megemlékezett. „Lugeon, Termier és Haug a keleti Alpesekeket szintén áttolódott takarókból állónak deklarálták, sőt Lugeon a kongresszust megelőző s Uhlig által vezetett kárpáti kirándulás során még a Magas-Tátrát, meg a szirtvonulatot is áttolódottaknak ítélte. Uhlig kezdetben ez ellen szóval és írásban védekezett és a franciák érveléseit nem fogadta el. A reá következő időben azonban

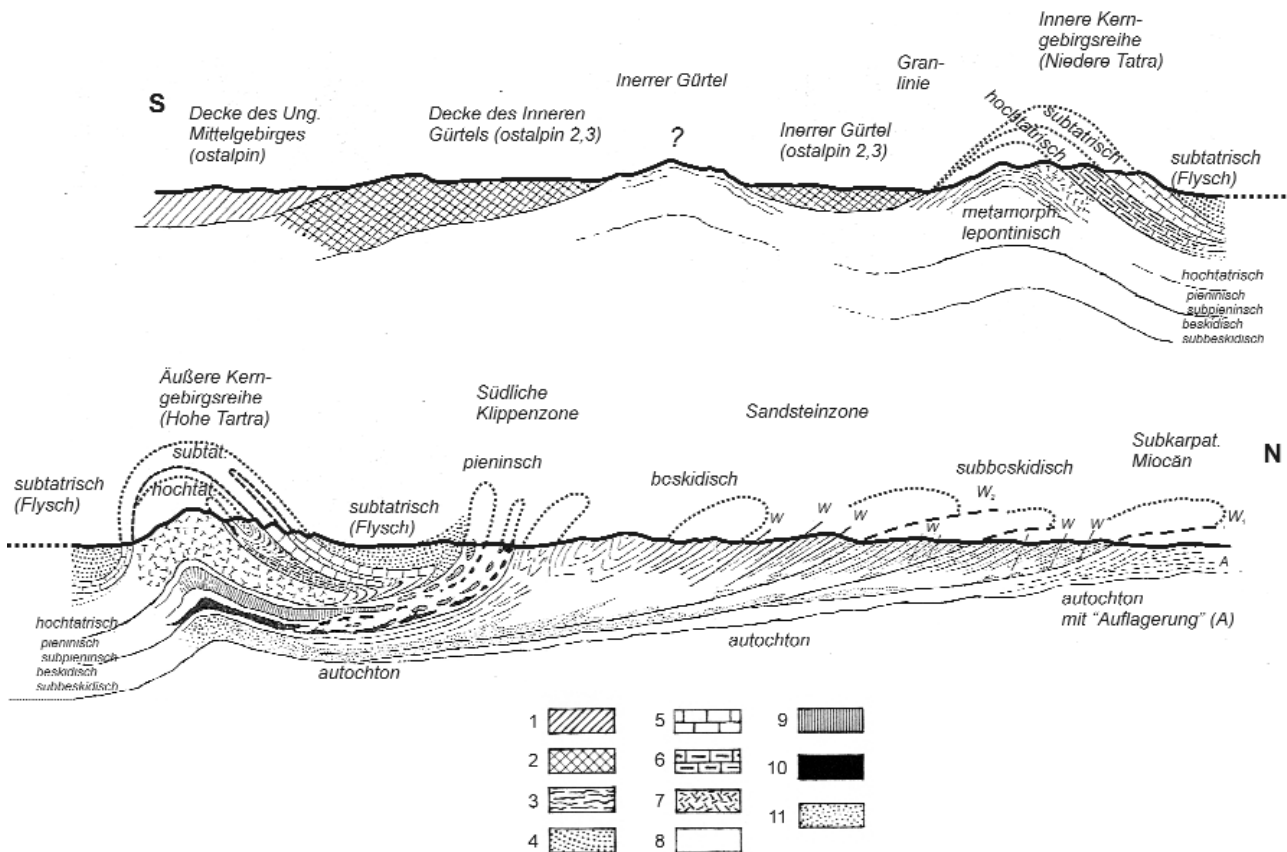
sokat foglalkozott e kérdéssel és behatóbban fontolóra vette a régi felfogás támasztékait, valamint az új tan érveléseit, aminek végre Uhlig Viktornak konvertálása lőn az eredménye. Nyíltan és kizárólag az örök igazság érdekében csatlakozott most már ő is az új irányhoz és a réginel jobbnak ismervén föl az új felfogást, kijelentette annak jogosultságát” (SCHAFARZIK 1912).

UHLIG (1907) ábráját (2. ábra) áttanulmányozva megállapítható, hogy a kárpáti előtértől a Magyar-középhegységig rajzolt szelvénye helyes, megegyezik mai ismereteinkkel. Egyetlen nagy hibát azonban elkövetett. Koncepcionális alapon a szerkezeti hierarchiában legfelső helyet elfoglaló középhegységi takaró áttolódásának korát miocénnek vélte, azaz egyidejűnek a legalsó helyzetű és legfiatalabb külső-kárpáti flistakarók kialakulásával. LÓCZY (1913b) így látszólag könnyű helyzetben volt, hogy megvédje koncepcióját és ítéletet mondjon: „Néhai boldog emlékü Uhlig Viktor barátomnak az a sejtése, hogy talán a Bakony és a magyarországi középhegységek triaszkorú rétegeikkel a mediterrán rétegek felett úsznak, a tudományos fantazmagoriákhoz utalható. Nem gáncsként mondom ezt, mert a képzelet munkáját a tudományban is nagyra tartom és szükségesnek ítélem.” A helyzet azonban csak azért volt „látszólag” könnyű, mert LÓCZY olyat cáfolt („...mediterrán rétegek felett úsznak...”), amit UHLIG a 2. ábra tanúsága szerint nem állított. Elvileg nyilvánvaló, hogy kialakulhat takaró olyan térszínre való rátolódással, ahol egykorú üledékképződés nincs. LÓCZY „cáfolata” tehát inkább emocionális, mintsem racionális volt.

LÓCZY ugyanakkor felismerte a Bakony térképezése során a pregosai tektonikát, amelyről szövegesen és számos szelvényen számot is adott (LÓCZY 1913a). Rétegtani „rendetlenségek” alapján már BÖCKH János felhívta a figyelmet az általa „litéri hasadéknak” nevezett szerkezetre. A litéri Mogyorós-hegy alján kibukkanó diabázpalát (metabazaltot) és „permi veres homokkővet” a 3. ábra tanúsága szerint LÓCZY (1913a; 10. ábra, a) egyértelműen a Fődolomitra rátoltnak tekintette: „... nem vulkáni effuzióval, hanem vetődéssel járó felnyomulással van itt dolgunk.” A litéri szerkezetre a hasadéknál pontosabb definíciót adott és világossá tette annak regionális elterjedését. **Csapásmenti váltóstörésnek** nevezte, ami mai fogalmaink szerint olyan transzkurrens vetőt jelent, amelynek dőlésmenti elmozdulása csapásirányban mozogva, váltakozva levetés vagy feltolódás. Területi elterjedésével kapcsolatban pedig megállapította, hogy ÉK felé Pétfürdőig nyomozható, de valószínűleg Magyaralmásig a Vértes alá terjed. DNy-i irányban pedig hajladoxva, helyenként eltűnve, de Gyulakesziig követhető vetőről van szó (LÓCZY 1913a, p. 73). A Balaton-monográfia sorozatban LACZKÓ (1911) a Veszprémi- és Litéri-törésnek egy rövidebb szakaszát térképen is ábrázolta.

LÓCZY egy másik izgalmas értelmezése a balatonfüredi Nagymezőnél kezdődő és KÉK irányban folytatódó Fődolomitpásztával kapcsolatos. Ez a pászta azért feltűnő, mert frontja 5–6 km-rel a Balaton irányába eltolódottnak mutatkozik a veszprémi platóhoz képest. „Eleinte a fődolomit transzgressziójának tulajdonítottam ezt a rendetlenséget a

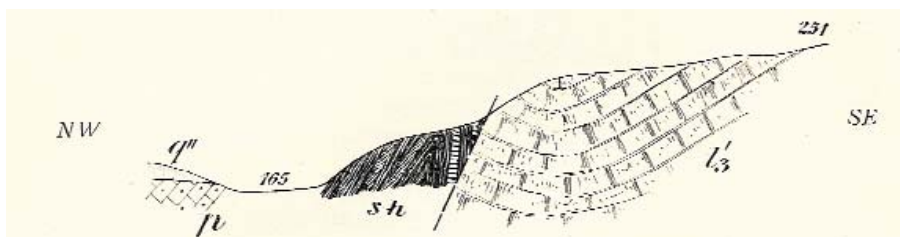
<sup>1</sup> Elődeink szép szokását követve a hazai szakemberekkel baráti viszonyban lévő egykori külföldi geológusok nevét magyarosan írjuk.



2. ábra. A magyar föld és a kapcsolódó Nyugati-Kárpátok takarós felépítése a mobilista koncepció szerint (UHLIG 1907)

A Magyar-középhegység a takarós hierarchiájában legfelső helyzetben lévő ausztróalpi takarórendszerhez tartozik. 1 – A Magyar-középhegység takarója, 2 – A belső öv takarója, 3 – Metamorf pala, 4 – Szubtátrai flis (eocén), 5 – Szubtátrai mezozoikum, 6 – Magas-tátrai mezozoikum, 7 – Magas-Tátra gránitja és kristályos palái, 8 – Felső-kréta és paleogén a pienini takarókban, 9 – Jura és alsó-kréta a pienini takarókban, 10 – Jura és alsó-kréta a szubpienini takarókban, 11 – Jura és alsó-kréta a beszkidi és szubbeszkidi takarókban

Figure 2. Nappe structure of the Western Carpathians and the Transdanubian Range (TR) was suggested by (UHLIG 1907), an outstanding early mobilist. The TR constitutes an uppermost Austroalpine (Eastalpine) nappe. 1 – Nappe of the TR, 2 – Nappe of the inner belt, 3 – Schists, 4 – Subatric flysch (Eocene), 5 – Subatric Mesozoic rocks, 6 – Mesozoic rocks of the High Tatra, 7 – Granites and schists of the High Tatra, 8 – Upper Cretaceous and Palaeogene rocks of the Pieniny Klippen Belt, 9–10 – Jurassic and Lower Cretaceous rocks (mostly sandstones) in the inner and outer flysch belt, 11 – Jurassic and Lower Cretaceous rocks in the nappes of the Beskids and sub-Beskids



3. ábra. A Mogyorós-hegy alján kibukkanó diabázpala helyzete Litér és Szentistván között (LÓCZY 1913a, p. 12.)

q'' = Löss, t<sub>3</sub> = Földolomit, p = Permian homokkő, s-h = Diabázpalás paleozoos rétegek

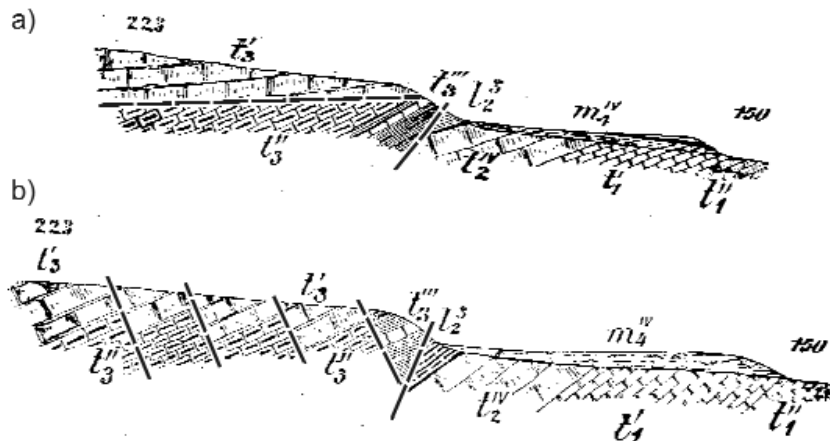
Figure 3. Tectonic position of diabase-schist (metabasalt) between the villages Litér and Szentistván (LÓCZY 1913a, p. 12)

q'' = Loess, t<sub>3</sub> = Main dolomite, p = Permian red sandstones, s-h = Diabase-schist (Palaeozoic)

márgáknak a földolomittal való diszkordáns elfödöttséget; szigorúbb bejárás azonban meggyőzött, hogy még a mezozoós periodusban történt rátolódás okozta a balatonfüredi zavarodásokat.” (LÓCZY 1913a, p. 143). Mindezt szelvényvel is illusztrálta (4. ábra, a), amelyhez a következő magyarázatot fűzte: „Az itteni fő-dolomitfolt tehát olyanak látszik, mint észak felől a felső-márgacsoport rétegeire rácsúztatott összevisszatöredezett tábla. Mint amikor a Balaton jégtakarójából az erős bakonyi szél egy táblát kivet a somogyi part homokturzására.”

Világos beszéd, egyértelmű szelvény: ez bizony a fekvőjéről lenyesett és áttolt takaró típusos példája! LÓCZY meg is jédt saját értelmezésétől és alternatív magyarázatot is adott (4. ábra, b). Eszerint a Földolomit és a felső-márgacsoport érintkezése konkordáns, de a Földolomitot normálvetők blokkokra darabolták s ezúton húzódott szét dél felé.

Ifj. LÓCZY Lajos, ki atyja kívánságára részletes tektonikai tanulmányokat végzett Balatonfüred környékén, a fenti két értelmezést kombinálta (ifj. LÓCZY 1917). A Földolomitpásztát fekvő rétegtől elvált, dél felé áttolt takarónak



4. ábra. a) A balatonfüredi Nagymező Földolomitja takarót képez a felső-triász márgák és mészkőveken avagy, b) a konkordánsan települő felső-triász rétegeket normálvetők blokkosan feldarabolják (LÓCZY 1913a, p. 143.). Mindkét értelmezés szerint a felső-triász rétegek ( $t_3$ ) a „veszprémi márgák” rátolódnak a középső-triász rétegekre ( $t_2$ )

$m_4$  = Pannóniai-pontusi rétegek,  $t_3$  = Földolomit,  $t_3^I$  = Sándorhegyi Mészkő,  $t_3^{II}$  = Veszprémi Márga,  $t_3^{III}$  = Kagylós mészkő,  $t_3^{IV}$  = Megyehegyi Dolomit,  $t_1$  = Lemezes mészkő,  $t_2$  = Lemezes dolomit

Figure 4. The main dolomite layer constitutes a detached nappe with an unconformable contact on the underlying Upper Triassic marls and limestones (a.), or alternatively, the contact is stratigraphically conformable and only normal faulting occurred (LÓCZY 1913a, p. 143). Note that the contact between Upper and Middle Triassic strata ( $t_3$  vs  $t_2$ ) is tectonic in both interpretations

$m_4$  = Pannonian and Pontian beds,  $t_3$  = Main dolomite,  $t_3^I$  = Sándorhegy Limestone,  $t_3^{II}$  = Veszprém Marl,  $t_3^{III}$  = Mollusc limestone,  $t_3^{IV}$  = Megyehegy Dolomite,  $t_1$  = Bedded limestone,  $t_2$  = Bedded dolomite

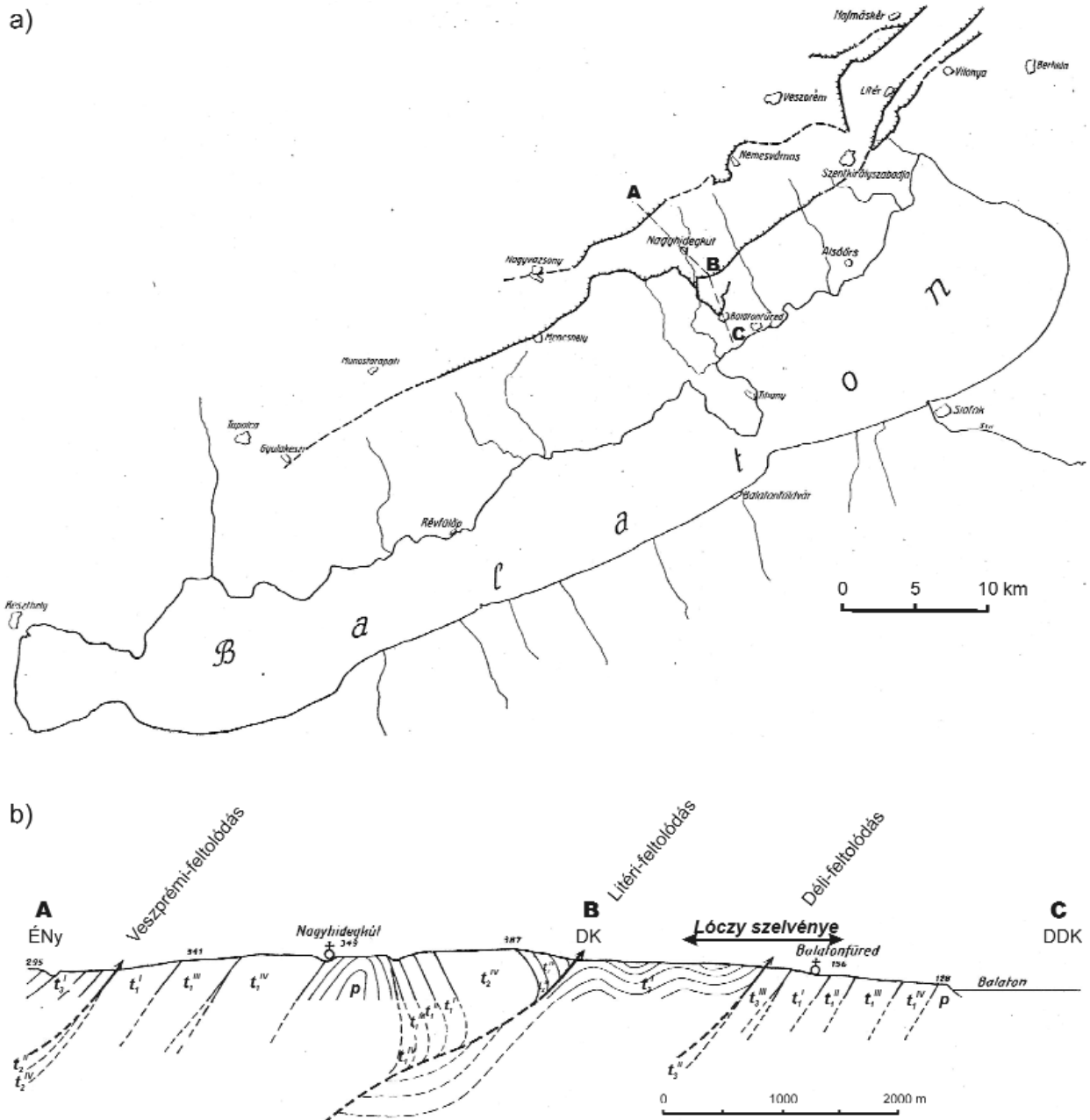
tekintette, amely később déli dőlésű normálvetődések mentén széthúzódott. Legfontosabb további új eredménye az volt, hogy felismerte a **horizontális eltolódások** általános elterjedését és fontos szerepét a balaton-felvidéki kulisszás szerkezetek létrejöttében. Az 1:12 500-as méretarányban készült térképe rámutatott arra, hogy a krétakori szerkezeteket elnyíró, valószínűleg fiatal kainozoos, transzverzális törések mentén a horizontális oldalelmozdulás mértéke többször 100 m is lehetett. Végző következtetése az volt, hogy: „...Balatonfelvidékünk jellegzetes töréshegység, mely kiemelkedését... úgy vertikális, mint horizontális diszlokáló erőknek köszönheti, melyeket egymástól élesen elhatárolni nem igen lehet”.

Atyja szellemi örökségét hűségesen őrizni igyekvő ifj. LÓCZY Lajos tevékenységét PÁVAI VAJNA Ferenc bírálta a leghevesebben. Ő BÖCKH Hugó munkatársaként a hazai szénhidrogénkutatás egyik úttörő egyénisége volt, aki — térképező munkái alapján — a töréses tektonika helyett a gyűrt szerkezetek fontosságát hirdette. A következőket írta (PÁVAI VAJNA 1923): „Szinte érthetetlen, hogy a megboldogult id. Lóczy Lajos... bár gyönyörűen lerajzolta balatoni munkájában a palaeozoos és mezozoos kőzetek számtalan redőzését... ezt a gyűrdéses tektonikát ... élete végéig nem méltatta eléggé az okvetlenül másodrendű töréses szerkezet mellett.” Ifj. LÓCZY (1925) válasza hasonlóan markáns: „Atyám tehát a keszthelyi hegységgel összefüggő Bakonyt északnyugatnak hajló, teljes perm-alsókréta korú rétegösszetételből álló, egyoldalú felépítésű, gyengén ráncokba redőzött hegységnek írja le... Középhegységeink mezozoikus gyűrdéseitől azonban távol áll az a gyűrdés, melyről Pávai szólott. A dunántúli pannon- és mediterránrétegek újabban hangoztatott fiatal pleisztocén-korú gyűrdéseinek

semmiféle közülük sem lehet az idősebb röghegységekben észlelt mezozoikus redőzésekhez. Atyám előttünk álló bőséges bizonyítékhalmaza alapján kereken visszautasítom Pávainak azt a felfogását, hogy a dunántúli neogént meggyűrő erők a röghegységek ellenálló kőzetű mezozoikumát regionális értelemben újból is meggyűrtek volna.”

PÁVAI VAJNA (1930) azonban nem hagyta ennyiben: „... igen is érintették a mezozoos hegységmaradványokat is, s azokban a régi gyűrdéseket fokozták pikkelyes rátolódásokig, sőt helyenként talán újabbakat is hoztak azokban létre...”. Ezt alátámasztandó megette azt, ami LÓCZY-nál csak próbálkozás maradt, felvázolta a Balaton-felvidék tektonikai értelmezését (5. ábra, a). Úgy vélte, hogy a Litéri-vonaltól északra egy perm magvú antiklinális rajzolódik ki, amelynek déli szárnya általában redukált a Litéri-törésen való feltolódáshoz kapcsolódó lenyesés következtében (5. ábra, b). A feltolódás mértéke a törés mentén változó, Liternél akkora, hogy az antiklinális teljes déli szárnya hiányzik és az antiklinális magja tolódik rá a földolomitra (vö. 3. ábra).

Cikkének legmeglepőbb része azonban az, amikor úgy tesz, mintha új felfedezésre jutott volna (PÁVAI VAJNA 1930, p. 20.): „A litéri vonaltól DK-re lévő földolomitpásztáról úgy id., mint ifj. Lóczy Lajos is helyenként mint dolomitpelről beszél... különösen Balaton-füred környékén, s ha a Balaton-tó környékének geológiai térképét nézzük, rögtön feltűnik, hogy a földolomit természetes fekvését elhagyva és azon keresztültolódva, éles tektonikus vonal mentén érintkezik az idősebb triásztagokkal. Azaz vastag, merev, összezsúzott földolomit, Balatonfüred és Pétfürdő között már önálló takaróként viselkedik”. Mindez persze nem más mint a két LÓCZY eredeti értelmezésének a kisajátítása. Csalódást



5. ábra. a) A balaton-felvidéki áttolódások vázlatos térképe, b) földtani szelvény az A-B-C jelű vonal mentén (PÁVAI VAJNA 1930)  
Jelölések azonosak a 4. ábrán lévőkkel a következő kiegészítéssel:  $t_2$  = Tridentinus mészkő,  $t_2^II$  = Reitz-i rétegek,  $t_1^III$  = Középső-campilli rétegek,  $t_1^IV$  = Alsó-campilli rétegek

Figure 5. a) Thrust fronts at the Balaton Highland, b) a geological cross-section along line A-B-C (PÁVAI VAJNA 1930)

Keys are the same as in Figure. 4 and  $t_2^I$  = Tridentin limestone,  $t_2^II$  = Reitz beds,  $t_1^III$  -  $t_1^IV$  = Middle and Lower Campillian strata respectively

kelt az is, hogy nem tudta megfelelően ábrázolni ezt az idősebb triász tagokkal éles tektonikai határral érintkező Fődolomit-takarót. A 4. ábra a részét és az 5. ábra b részét összevetve meg kell állapítanunk, hogy LÓCZY szelvénye jobb, mert az szemléletesen mutatja a takarós értelmezést.

PÁVAI VAJNÁT azonban nem szabad alábecsülni. Cikkében föltett egy érdekes kérdést, amelyre izgalmas választ adott, mégha indoklása túl nagy fantáziára is vallott. Nevezetesen annak magyarázatát kereste, hogy a Balatonfüred-Nagyhidegkút vonaltól ÉK-re miért van több feltolódás, mint attól DNy-ra (lásd 5. ábra, a). Szerinte azért, mert ÉK-en a takarós mozgásokat segítette az intenzív neogénvégi

süllyedés következtében létrejött délies irányú lejtő, míg DNy-on a bazaltvulkánok horgonszerűen viselkedő kürtői és dájkjai akadályozták ezeket a mozgásokat. Mindebből a spekulációból adódott számára a merész következtetés: „Tehát a jelzett áttolódásos mozgásokat a Balatonfelvidéken ugyanolyan fiatalnak tartom, mint a Szászvár–Pécsvidékieket, vagyis kezdődtek a felső-mediterránban, s talán mondjuk fogyó intenzitással tartanak máig.”

A terület további kutatásának fontos szereplője volt TELEGDY ROTH Károly, aki részletesen térképezte az Északi-Bakony Bodajktól Zircig terjedő területét (TELEGDY ROTH 1935). Legfontosabb eredménye a horizontális elmozdu-

lások kimutatása volt. Olaszfalu és Eplény között, a később róla elnevezett vonalon, 4 km-es jobbos elmozdulást tapasztalt. Az oldalelmozdulások korának kérdésében úgy foglalt állást, hogy „... elsősorban az ausztriai (pregozai) mozgások terhére kell írunk az Északi Bakony rögzítésének fővonalait”. A hegységszerkezet általános vonásait illetően véleménye azonos a LÓCZYakéval. Ezt azzal magyarázta, hogy „... a hegységképző mozgások, melyekben e rögcsoportok elrendeződtek, nem vastagon feltöltődött geoszinklinális plasztikus mélységben, hanem... a felszínhez egészen közelfekvő merev testben mentek végbe.”

Ebben a szellemben további munkák is születtek (TELEKI 1936). Végül következtetésüket jól illusztrálja ERDÉLYI FAZEKAS (1943) megállapítása: „a Balatonfelvidéken általában a tektonikus zavarokat két csoportba oszthatjuk. Ezek a Balatonhegység csapásával párhuzamos hosszanti törések töréses áttolódásoknak bizonyultak, melyek orogén természetű intenzitásbeli azonosságot az alpesi áttolódásokkal nem árul el.”

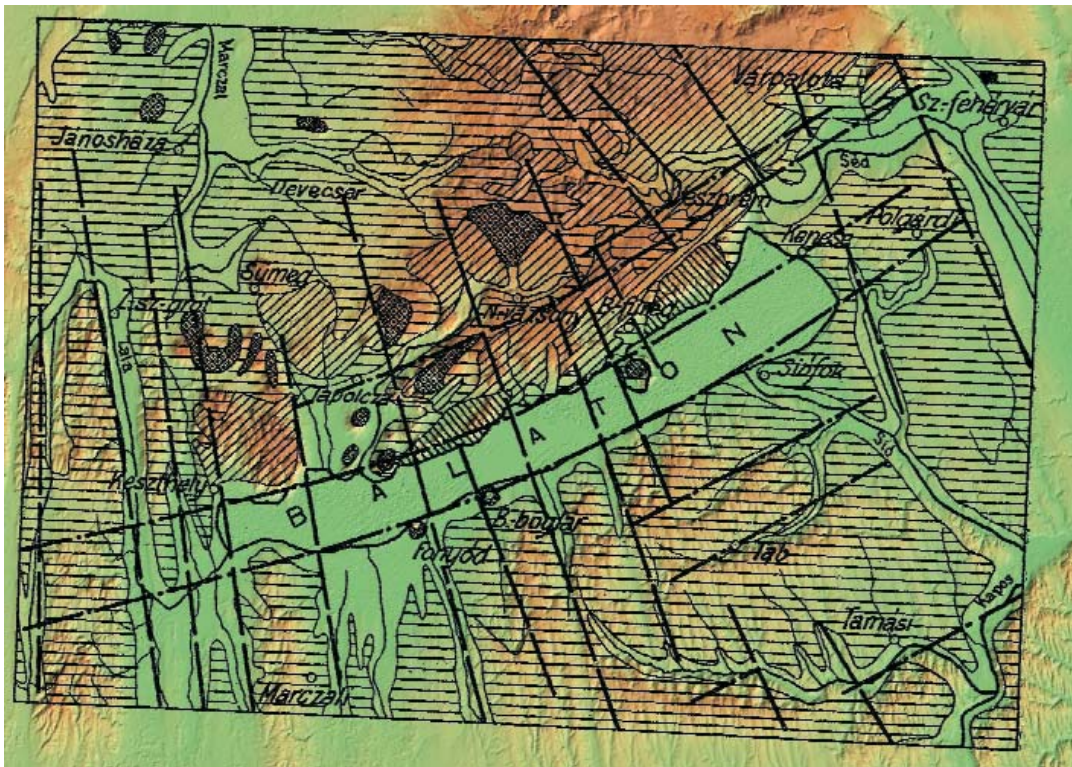
### Fiatal szerkezetfejlődés: töréses vagy gyűrődéses tektonika

A két LÓCZY és több más kutató tehát arra a következtetésre jutott, hogy a közbenső tömeg merevségét a fiatal tektonikai deformációk során is megtartotta, és ezért uralkodóan rideg töréses szerkezetek alakulhattak ki. Ezek a hosszanti (longitudinális) és haránt irányú (meridionális) törések egymást közel derékszögben metsző rendszere,

amelyről LÓCZY többször írt, de csak egyetlen vázlatot publikált a Balaton környékére (6. ábra; LÓCZY 1913b). Ennek kivágata lényegében megegyezik geológiai térképének határaival (LÓCZY 1920), de ettől eltekintve a két térképnek kevés köze van egymáshoz. Az ábrán látható haránt irányú vetőrendszert a morfológia és nem a geológiai térkép alapján vázolta fel. Ez a térkép koncepcionálisan nem mutat újat CHOLNOKY (1911) korábban publikált és lényegesen nagyobb területet ábrázoló térképéhez képest (7. ábra).

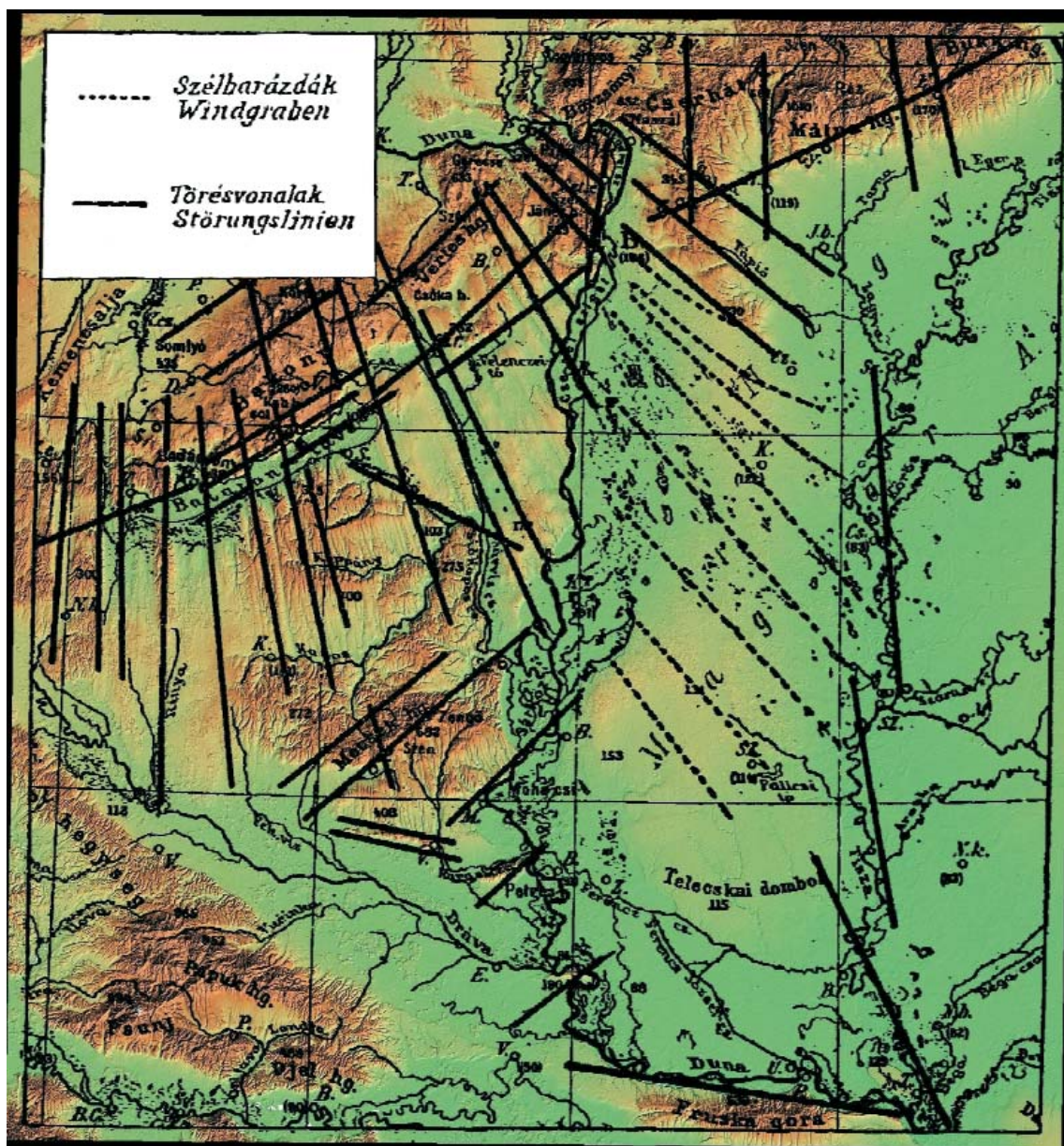
CHOLNOKY térképén látható, hogy a Duna–Tisza között megfigyelt szélbarázdáknak a harántirányú törésvonalakkal bezárt szöge kis értékkel, de szisztematikusan eltér a harántirányú törések csapásától. Ezért CHOLNOKY (1911) úgy gondolta, hogy „... a tektonikus irányok és a buczkák iránya közt nincs összefüggés.” A Balaton-monográfia sorozathoz írt munkájában azonban CHOLNOKY (1918) már sokkal jelentősebb szerepet tulajdonított a szélbarázdák tektonikus preformáltságának. Ezt a nézetet messzemenően elfogadta és támogatta LÓCZY (1913a) is.

A meridionális völgyek tektonikai preformáltságát CHOLNOKY egyértelműen definiálta. „Keskeny, árkos vetődésekre nem is gondolhatunk, mert egyik-másik igazán csak vonal, alig van völgsík, nézzük pl. a balsi vagy mocsoládi völgyeket. Lehetetlen, hogy ilyen keskeny, szűk, hosszú völgy árkos vetődéssel jött volna létre” (CHOLNOKY 1918, p. 127). Ehhez még hozzátette, hogy a folyóvízi erózió is ki van zárva: „... a völgyeken semmiféle fluviális hatás nyoma nem látszik. Rendesen rongyos kis patakok, alig mozgó, lomha csatornavizek folydogálnak bennük...”. Mi adja tehát a tektonikai preformáltságot? Érdemes felfigyelni CHOLNOKY



6. ábra. Lóczy (1913b) vázlata a hosszanti és harántirányú törésrendszerről, mai terepmodellre helyezve

Figure 6. Lóczy's sketch of the longitudinal and meridional fault system superimposed on a modern digital terrain model Lóczy (1913b)



7. ábra. CHOLNOKY (1911) térképe a hosszanti és harántirányú törérendszeréről és a Duna-Tisza közén észlelt szélbarázdákról, mai terepmodellre helyezve

Figure 7. CHOLNOKY's sketch of the longitudinal and meridional fault system and the wind-blown sand ridges (broken line) superimposed on a modern digital terrain model (CHOLNOKY 1911)

válaszában rejlő szakmai felkészültségre: „A földrengések újabb tanulmányozása, különösen a sanfranciscoi földrengés (1906. április 18.) megismertetett bennünket egy olyan jelenséggel, amelyet eddig nem ismertünk.” Ez pedig az: „... hogy a földkéregben lényeges horizontális elmozdulások is keletkeznek. ... Emiatt az anyag a repedés mentén porrá zúródik.” Ezt a mai terminológiával oldalelmozdulásos vetődésnek nevezett jelenséget, CHOLNOKY „hasadás”-nak hívta. Ezek után szabatosan summázza elképzelését: „Így mármint még jobban szigoríthatjuk definícionkat s a zalai és somogyi meridionális völgyeket hasadások mentén támadt szélbarázdának mondhatjuk”.

A hosszanti törések definícióját sem LÓCZY, sem CHOLNOKY nem adta meg pontosan, de fő funkciójukat

illetően nem hagytak kétséget. LÓCZY (1913b) azt írta, hogy „... a hosszanti és harántos repedések sűrűn tagolják a dunántúli és valamennyi többi belső hegységeinket. ... valószínűleg a mediterránkor végén és a szarmata-korban az egymást keresztező repedések között nagy pásztyák mélyén lesüllyedtek és helyet adtak Alföldeinknek. A nagy hegytömegek elsüllyedésének főkorát az Alföldet szegélyező hatalmas andezittömegek kitérülése idejére tehetjük. ... A besüllyedések a jelenkorig tartottak és valószínűleg még ma sem szűntek meg.”

Úgy LÓCZY, mind CHOLNOKY a Balatont árkos süllyedéseknek tartotta, amelynek kialakításában eolikus és vízi erózió is nagy szerepet játszott. LÓCZY (1913b) szerint: „A Balaton mélyedéseinek beszakadása ... a bazaltvulkánok

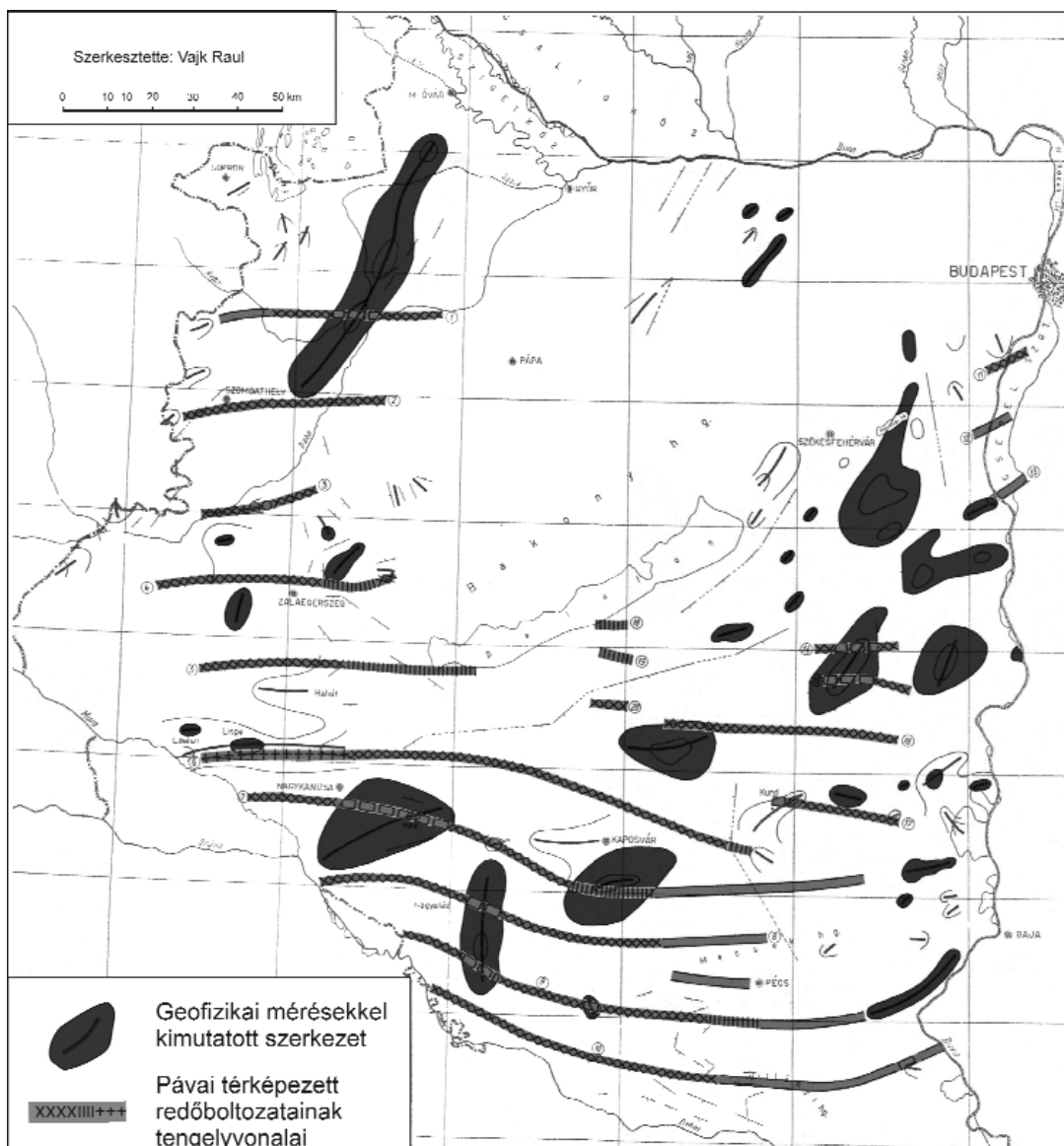


kihűlése és elhalása után, a diluviumban történt. Nem egyetlen beszakadás adta a Balaton medrét, hanem négy, sőt a Kisbalaton medencéjével öt különálló horpadás volt a kezdete. E mélyedéseknek elválasztó földszorosait a lefolyástalan medencékben összegyülemelő víz szélhajtotta hullámai átmarták.” LÓCZY (1913b) Balaton-monográfiájában körvonalazta az öt elkülönült horpadást, míg CHOLNOKY (1936) szemléletes ábrason mutatta be a Balaton kialakulását, kiemelve a peremi vetők menti beszakadás és a szélerózió szerepét.

Majd megszólalt PÁVAI VAJNA (1923) és kijelentette: „...a Lóczy-Cholnoky-iskola által hangoztatott árkos vetődések nem tektonikus eredetűek, hanem azok, amiknek a bennük lévő, sokszor buckákban forgatott futóhomok deklarálja: a pleisztocén-végi steppeklíma szélmarta völgyei s a lőszpedig az ezekből partra kifújtt hullópor.”

Megállapítható, hogy PÁVAI véleménye egyértelmű, de bántóan nagyvonalú. A LÓCZY–CHOLNOKY iskola hosszanti és harántirányú kettős törérendszerének bírálatakor „elfelejti”, hogy éppen ez az iskola volt az, amely a töréses tektonika mellett messzemenően hangsúlyozta, hogy úgy a Balaton medrének kialakításában, mint a meridionális völgyek létrejöttében a dominánsan ÉÉNy-i irányú szeleknek milyen nagy volt a szerepe (LÓCZY 1913a, CHOLNOKY 1918). Vagyis a deflációs völgyképződést CHOLNOKY találta ki, PÁVAI annyit vallhat magáénak, hogy elvetette a völgyek tektonikus preformáltságát.

Majd PÁVAI VAJNA (1925) a következő, általános következtetésre jutott: „... a dunántúli medencerész szerkezetét nem a soha senki által részletesen le nem írt és térképre nem rajzolt törések, hanem parallel redőzöttség jellemzi, s ezek a redők éppen harántolják az ÉD-i irányú nem tektonikus



8. ábra. A dunántúli gyűrődések redőtengelyei PÁVAI VAJNA (1925) szerint és a geofizikai (főleg gravitációs) mérésekkel kimutatott aljzatmagaslatok a Dunántúlon VAJK (1943b) szerint

Figure 8. Axis of regional folds in the basin fill inferred from dip measurements at or near the surface of Pannonian or Pontian strata (PÁVAI VAJNA 1925) compared to highs of the substrata below the basin fill derived from geophysical (mostly gravity) surveys (VAJK 1943b)

eredetű, hanem deflációs völgyeket...” A 8. ábrán az általa végzett felszíni és felszínközeli dőlésmérésekből levezetett antiklinálisok tengelyvonalai láthatók a Dunántúlon.

PÁVAI térképét azonban hamarosan megkérdőjelezték a felszínalatti szerkezetek leképezését lehetővé tevő geofizikai vizsgálatok, amelyek a hazai szénhidrogén-kutatások gyors fejlődése során kerültek előtérbe az 1930-as és 1940-es évek során.

### A geofizika térhódítása a szénhidrogén-kutatásban: a mélyszerkezet megismerése

EÖTVÖS Loránd tevékenysége eredményeképpen a 19. század végén Magyarországon született meg az alkalmazott geofizika gravitációs kutatómódszere (EÖTVÖS 1889, 1900). LÓCZY Lajos számára kézenfekvő volt, hogy a Balaton tudományos tanulmányozásának programjához megnyerje a geofizikusokat is. Maga is részt vett az 1901 és 1903 telén, a Balaton jegén, EÖTVÖS által vezetett torziós-inga mérésekben. Már ezek az első kutatómérések érdekes eredményt hoztak: arra utaltak, hogy a Balaton alatt, annak hossztengele mentén egy sűrűségkontrasztal rendelkező szerkezet található. A geofizikai kutatások eredményei két füzetben jelentek meg a Balaton-monográfia sorozatban (STERNECK et al. 1908, RÉTHLY 1912).

Az első gravitációs mérések megteremtették a lehetőséget, hogy az Eötvös-inga bevonuljon a hazai szénhidrogénkutatásba is. BÖCKH Hugó javaslatára EÖTVÖS és munkatársai, PEKÁR Dezső és FEKETE Jenő 1912-ben ingaméréseket végeztek a Maros völgyében, hogy teszteljék a módszer alkalmazhatóságát. Majd 1915 és 1916 nyarán hasonló tesztméréseket végeztek az 1913-ban PAPP Simon által geológiai térképezéssel és fúrással felfedezett egbelli mezőn. Mindkét mérés meggyőzően bizonyította, hogy a nagysűrűségű rétegek felboltozódásával létrejött antiklinálisok okozta gravitációs maximumok tökéletesen térképezhetők EÖTVÖS torziós ingájával (PEKÁR 1917). Az egbelli területen végzett mérések azt is mutatták, hogy a fő antiklinálistól délre, Sasvár környékén kisebb, de hasonló boltozat helyezkedik el. Az itt mélyített fúrások is eredményesek voltak (SZILÁRD 1984).

EÖTVÖS halála után 1920-tól indultak be a szisztematikus gravitációs mérések részben a magyar állam, részben pedig az Anglo-Persian Oil Company Ltd. koncessziós kutatásainak keretében (BÖHM 1939). 1933-tól 1948-ban történt bebörtönzéséig PAPP Simon volt a külföldi koncessziók keretében folyó szénhidrogén-kutatások szellemi vezére az Eurogasco, majd jogutódja a Maort főgeológusaként.

Elsőként PAPP Simon tekintette át a szénhidrogén-kutatások fő tektonikai eredményeit és a geológiai térképezés problémáit (PAPP 1939): „Az Eurogasco külszíni megfigyelései alapján csak a Dunántúl délnyugati részére állítható határozottan, hogy pliocén rétegei enyhén gyűrtek, de megfigyelhető adatok a gyűrődések helyének pontos megállapításához nem elegendők. ... A Dunántúlnak fiatal harmadkori üledékekből álló részét beborító felső pliocén

kavics és lösz takaró meggátolják a geológust abban, hogy pusztán geológiai módszerekkel igyekezzen betekintést nyerni az altalaj szerkezetébe. Az ilyen szerkezetek tanulmányozásához ma már az egész világon geofizikai módszereket hív segítségül a geológus.” Ezek után a szerző egyenként ismertette a geofizikai módszerekkel kimutatott emelt helyzetű szerkezeteket (inkei, magyarszentmiklósi, hahót-kilimáni és kurdi maximum), majd amellet érvelt, hogy a felszíni rétegdőlések alapján egyik sem lett volna felismerhető. Az igazsághoz az is hozzátartozik, hogy PÁVAI VAJNA sem kizárólag felszíni mérések alapján térképezte az antiklinálisokat, hanem aknákat vágatott a talajba és az itt tapasztalt dőlésekből szerkesztette meg a pannóniai rétegek dőlését (CSONTOS szóbeli közlés).

A gravitációs eredmények és PÁVAI felszíni tektonikai megfigyelései közti ellentmondást PEKÁR Dezső, EÖTVÖS egykori munkatársa, majd a Geofizikai Intézet igazgatója fejtegette ki részletesen a torziós inga 50 éves jubileumát köszöntő munkájában (PEKÁR 1941). Az 1941 novemberében tartott előadásában VAJK Raul, a Maort vezető geofizikusa mindezeket részletesen ismertetéssel és „A Dunántúl földtani szerkezetének vázlata a geofizikai kutatások alapján” című 1:500 000 méretarányú térképével támasztotta alá (8. ábra). A cikk és térképmelléklete a Földtani Közönyben jelent meg (VAJK 1943a). PÁVAI VAJNA előadásban azonnal válaszolt, és ennek anyaga, a forró hangulatú vitában elhangzott összes hozzászólással együtt a Magyar Királyi Földtani Intézet 1943. Évi Jelentésének függelékében található meg (PÁVAI VAJNA 1943). Ez a két publikáció a magyar tektonikai gondolkodás fejlődésének, és a geofizika egyenrangúsodásának érdekesítő dokumentumát képviseli.

Az előadást követő vitában PAPP Simon leszögezte, ... *Pávai elvei helyesek, az azonban megállapítást nyert, hogy részletekben az ő eredményei és a MAORT vizsgálati eredményei között mélyreható eltérések vannak.*” Mindezt VAJK (1943b) támasztotta alá: egy egyértelmű térképet (8. ábra) és egy perdöntő statisztikát közölt. E szerint: „... *kitűnik, hogy a Pávai-féle antiklinálisok semmi hasonlóságot sem mutatnak a fúrási eredmények alapján megbízhatóan bizonyult geofizikai mérések eredményeivel. A Pávai antiklinálisainak:*

- a) 1%-a a geofizikai mérésekkel kimutatott szerkezettel összeesik;
- b) 4%-a a geofizikai mérésekkel kimutatott szerkezet oldalain van;
- c) 8%-a szög alatt keresztezi a geofizikailag kimutatott szerkezeteket;
- d) 9%-a kimondottan törésszerű szerkezetben fekszik;
- e) 63%-a árokban vagy szinklinálisban van;
- f) 15%-a gravitációs mérésekkel át nem kutatott területre esik, ahol jórészt már oly idősebb rétegek vannak a felszínen, amelyeken érdemleges felszíni, tektonikai vizsgálatok végezhetők.”

A megsemmisítő kritika mellett VAJK (1943a) olyan általános következtetéseket is megfogalmazott, amelyek jórészt PÁVAIT igazolták:

— A zalai meridionális völgyek esetén „... a geofizikai adatokban sem találjuk nyomát annak, hogy a völgyek tektonikai eredetűek lennének. A váli völgy sem tektonikus eredetű, de a móri völgyben végzett mérések alapján szépen felismerhető a völgy árkos törés jellege.”

— A geofizikai mérések szerint a Dunántúlon törésszerű szerkezetek és gyűrődéses szerkezetek is előfordulnak: „Nem mondhatjuk tehát, hogy a Dunántúl kizárólag gyűrődéses, vagy kizárólag törésszerű szerkezetű.” Mindemellett figyelembe kell venni azt a prekoncepciót Vajk értelmezésében, miszerint a felszínen észlelhető és mérhető antiklinálisokhoz a mélyben feltétlenül aljzatkiemelkedés tartozik. A mai ismereteink és adataink alapján, a Pannon-medence inverziójának köszönhetően, az egykori süllyedékek felett is kialakulhattak és ki is alakultak antiklinálisok a Dunántúl területén (l. később).

Vízutató fúrások által szolgáltatott földtani információk alapján született újabb modellek (ERDÉLYI 1961, 1962; MIKE 1991) is a gyűrődéses tektonika fontosságát állapítják meg. Ezen modellek szerint a Dunántúl mai topográfiája ÉNy–DK irányú fiatal kompresszió hatására alakult ki, amely a Balaton hossz tengelyével párhuzamos gyűrődések formájában mutatkozik meg a felszínen. Az elképzelés szerint a Dunántúli-középhegység és a Mecsek például egy nagy antiklinális szerkezetként értelmezhető, míg a Balaton egy szinklinális szerkezethez kapcsolható.

### Mai ismereteink: hegységszerkezet és neotektonika

Az új tektonikai eredmények megszületésében alapvető szerepet játszottak az 1950-es évektől felgyorsult nyersanyag- és szénhidrogén-kutatásokhoz kapcsolódó fúrásos geológiai kutatások és a korszerű geofizikai (elsősorban szeizmikus) szelvényezések. Elvi háttérrel pedig az 1960-as években megszületett lemeztektonikai elmélet adott.

#### Hegységszerkezet

A Dunántúli-középhegység oldalelmozdulásos tektonikájának megértéséhez legnagyobb mértékben hozzájáruló kutató Mészáros József (1936–1985) volt. Ő a bakonyi térképezése és néhány vitatott jura ősföldrajzi állásfoglalása után az 1970-es években kapcsolódott be a Halimba–Herend–Csehánya térségi bauxit- és az Ajka környéki szénkutatásba, valamint az Űrkúttól ÉK-re húzódó terület rész mangánérc perspektíváinak a felmérésébe. A nyersanyagkutatás ipari igényeket támasztott, s ezúton új lehetőséget teremtett a földtani-tektonikai viszonyok magasabb szintű megértéséhez. A felszíni földtani térképezés mellett geofizikai mérések, fúrási adatok és bányabeli megfigyelések is segítettek a szakemberek munkáját. Mészáros az „ördög sarkantyúja” által hajtva, hihetetlen iramban és megszállottsággal merült bele a részletekbe és emelkedett fel a szintézis magaslataira. Eredményeit több ipari jelentés, számos magyar nyelvű publikáció és egy 1:100 000-es

méterarányú „A Bakony és a Balatonfelvidék tektonikai térképe” című kézirat őrzi (l. ZÁMOLYI et al., jelen kötet). Ennek egyszerűsített vázlata a 9. ábrán látható (Mészáros 1983).

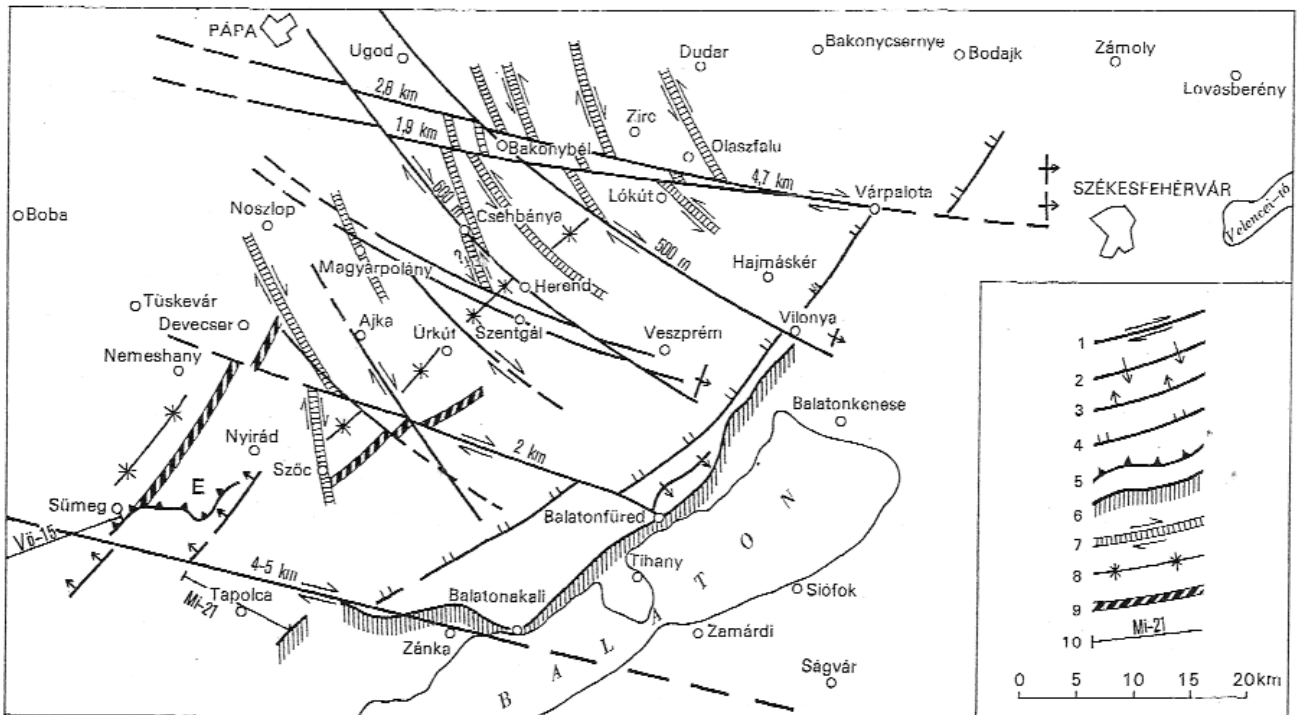
Vizsgálatai szerint két horizontális oldalelmozdulási rendszer létezik: az egyik rendszer fiatalabb, nagy megbízhatósággal intraszarmata korú. Az idősebb rendszer kora kevésbé pontosan határozható meg, de láthatólag a barreminál idősebb kora-kréta. A fiatal rendszer minden egyes tagja hosszan követhető, térképi nézetben enyhén íves vonalú, jobbos oldalelmozdulás, amelynek mértéke általában több km (vö. 9. ábra). A többgenerációs fiatal vetőrendszer NyÉNy csapású ágait az ÉNy csapásúak elvetik. Továbbá a NyÉNy csapású oldalelmozdulások elvetik, s ezúton szegmentálják a Litéri-feltolódást is. Az oldalelmozdulások — talán a Sümeg–Zánka-vonal kivételével — a hegység DK-i részén torlódásos zónákban nagymértékben felemésztenek, s így nem, vagy csak kis elmozdulással folytatódnak a Balaton üledékei alatt.

A Mészáros által térképezett oldalelmozdulásos vetőrendszer és annak működési mechanizmusát Tari Gábor (1991) átfogóan elemezte. Paleomágnese adatokat, kőzetmechanikai megfontolásokat és külföldi tapasztalatokat figyelembe véve arra következtetett, hogy a Bakony két határoló fővető (Rába-vonal és Balaton-vonal) közötti balos nyírás eredményeként, blokkokra darabolódva óramutató járásával ellentétes rotációt végzett a neogén során (10. ábra). Ez a blokkrotáció úgy vált lehetővé, hogy a kéreg felső 5–15 km vastagságú és ridegen törő része regionális felület mentén lecsatolódt (basal detachment) az alatta lévő és már képlekeny mélyebb tartományról.

Ez a regionális lecsatolódsági felület **takarósík**, amely az ausztróalpi egységeknek a pennini egységekre való rátolódsági síkjával azonosítható. Ádám O. et al. (1984) és Horváth et al. (1987) már korábban javasolta, hogy a Dunántúli-középhegységben megfigyelt elektromosan jól vezető anomália (Ádám A. 1977) takaróhatárhoz köthető, s annak forrása metamorfizált fekete pala, vagy grafit.

A Kisalföldről induló és a Bakony ÉNy-i fedett szárnyára kifelé szeizmikus szelvények minőségének és felbontóképességének javulásával egyre nyilvánvalóbbá váltak olyan markáns szeizmikus reflektorok, amelyeket takaróhatárként volt indokolt értelmezni (Rumpler & Horváth 1988, Pogácsás 1990, Mattick et al. 1996). A mélyszerkezet-kutató geofizikai méréseket figyelembe véve született meg a 11. ábrán látható, a takarós felépítést illusztráló tömbmodell (Horváth 1993). A minden releváns adatot felhasználó szintézis Tari (1994) munkája, amelyről e kötetben külön is számot adunk (Tari & Horváth, jelen kötet).

Végül tektonikai gondolkodásunkban bekövetkezett fejlődés szimbólumának tekinthetjük azt, hogy a Pohorje-hegység metamorf kőzetkomplexumának a **medencealakulással egyidejű kitakaródsát** (exhumációját) felismerve számos szerző (Ratschbacher et al. 1990, Fodor et al. 2003) arra következtetett, hogy a Bakony eredetileg e metamorf kőzetkomplexum felett lévő és arról lecsúszott legfelső-ausztróalpi takaró. A Pohorje (Bacher-hegység)

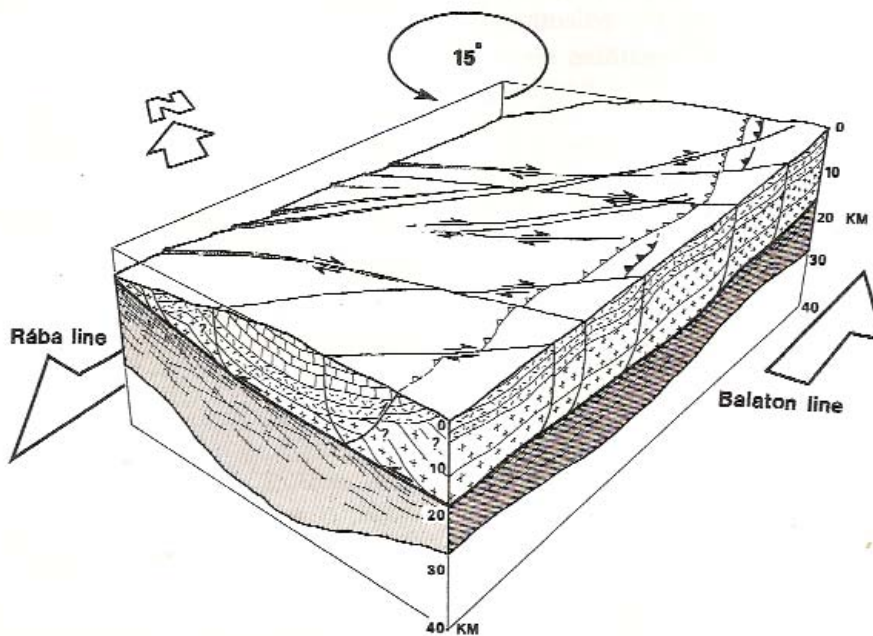


9. ábra. A bakonyi oldaleltolódások vázlata (MÉSZÁROS 1983)

1 – Intrasarmata jobb oldalelmozdulások, 2 – Kioldódási, torlódási zónák, 3 – Stájer normálvető, 4 – Litéri-feltolódás, 5 – Az eocén elterjedési határa, 6 – Az alsó- és középső-triász határa, 7 – Intrakréta oldaleltoledások, 8 – Triász-jura-neokom-apti szinklinális, 9 – Kösszeni rétegek határa, 10 – Szeizmikus szelvények nyomvonala

Figure 9. Sketch of the strike-slip faults in the Bakony Mts (MÉSZÁROS 1983)

1 – Intra-Sarmatian dextral strike-slip, 2 – Thrust fault, 3 – Styrian phase normal fault, 4 – Litér thrust, 5 – Boundary of Eocen strata, 6 – Boundary of Lower and Middle Triassic strata, 7 – Intra-Cretaceous strike-slips, 8 – Synclines of Triassic to Aptian beds, 9 – Boundary of Kössen beds, 10 – Location of seismic sections

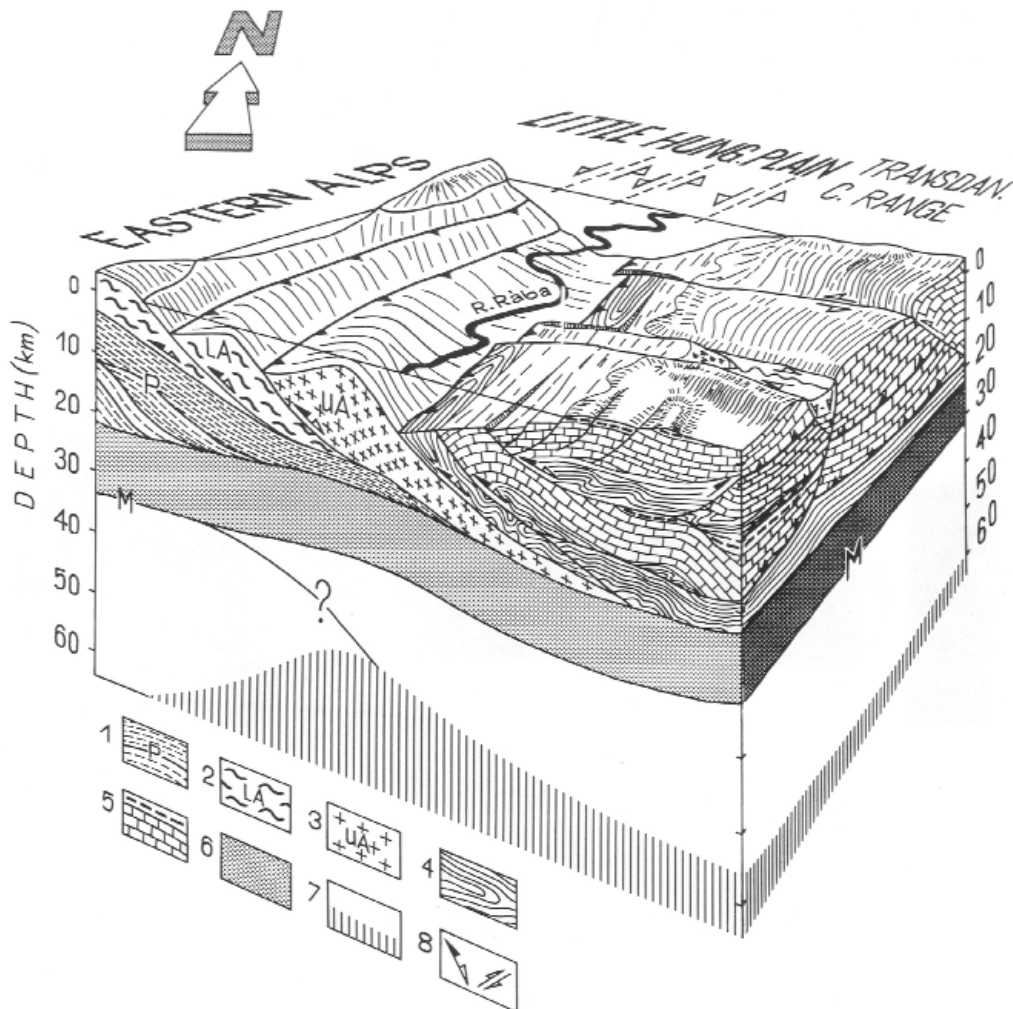


10. ábra. A Bakony intrasarmata oldalelmozdulásait magyarázó modell (TARI 1991)

A rideg felsőkéreg-blokkok óramutató járásával megegyező értelmű rotációt végeznek a két határoló fővető (Rába-vonal és Balaton-vonal) közötti nyíró-zónában. Ez úgy válik lehetővé, hogy a 5-15 km mélységben lévő egykori takaróhatár mentén lecsatlódnak az alsóbb helyzetű, duktilisan deformálódó közzettartományról

Figure 10. Tectonic model to explain the intra-Sarmatian strike-slip fault system in the Bakony Mts (TARI 1991)

The rigid upper crustal blocks rotate clockwise in the shear zone between the two boundary faults (Rába line and Balaton line). The detachment plane between the rigid upper crust and the ductile lower crust is a former nappe boundary at a depth of 5 to 15 kms



**11. ábra.** Az Alpok és a Dunántúli-középhegység közötti terület takarós felépítését és litoszféra-szerkezetét illusztráló tömbmodell (HORVÁTH 1993)

1 – Penninikum, 2 – Alsó-ausztrálpai takarók, 3 – Felső-ausztrálpai takarók, 4 – Felső-paleozoos palák, 5 – A Dunántúli-középhegység triász-jura kőzetei, 6 – Duktilis alsó kéreg, 7 – Köpenylitoszféra és asztenoszféra, 8 – Normálvetőként reaktiválódott takaróhatár és oldalelmozdulás

**Figure 11.** Lithospheric block-model to show the nappe hierarchy in the transition zone between the Eastern Alps and the Transdanubian Range (HORVÁTH 1993)

1 – Penninic rocks, 2 – Lower Austroalpine nappes, 3 – Upper Austroalpine nappes, 4 – Upper Palaeozoic schists, 5 – Triassic and Jurassic rocks of the Transdanubian Range, 6 – Ductile lower crust, 7 – Mantle lithosphere and asthenosphere, 8 – Thrust plane reactivated as normal fault, and strike-slip faults respectively

LÓCZY altáida–variszkuszi masszívumának egyik „sarokköve” volt. Az egykoron összefüggő masszívum másik roncsát LÓCZY a Kőszegi-hegységben vélte megtalálni. Az új vizsgálatok szerint (DUNKL et al. 1998) azonban a rohonci palák nagynyomású metamorfózisa az eocénben kulminált az alpi kollízióhoz kapcsolódó betemetődés során. A felszínre történt emelkedés pedig tektonikus kitarakodás eredménye az alpi–pannon területet miocén extenziója alkalmával. Miután kiderült (DINTER et al. 1995), hogy a Rodope-masszívum maga is az Égei-medence késő-miocén extenziója során emelkedett az alsó kéreg mélységeiből a felszínre, világossá vált, hogy a metamorf magkomplexumok nem egy ősi masszívum maradványai, hanem az alpi hegységrendszer kollíziós és poszt-kollíziós fejlődésének eredményei.

### Neotektonika és recens felszínfejlődés

A Pannon-medence fiatal tektonikájának a tényszerű megismeréséhez az egyre jobb minőségű szeizmikus mérések és értelmezések szolgáltatották a megkérdőjelezhetetlen adatokat. (RUMPLER & HORVÁTH 1988, POGÁCSÁS et al. 1989, LÖRINCZ & SZABÓ 1992, TÓTH & HORVÁTH 1998, CSONTOS et al. 2002, FODOR et al. 2005, TÓTH et al., jelen kötet). A fiatal deformációk megismerése fokozatosan kiegészült az ezen deformációkat létrehozó recens feszültségtér meghatározásával is (GERNER et al. 1999, BADA et al. 2007). A terület lemezttektonikai alapú fejlődéstörténetének a felvázolásával összeállt a kép: megismertük és megértettük a Pannon-medence és orogén környezeti geodinamikájának fő vonásait (HORVÁTH 2007).

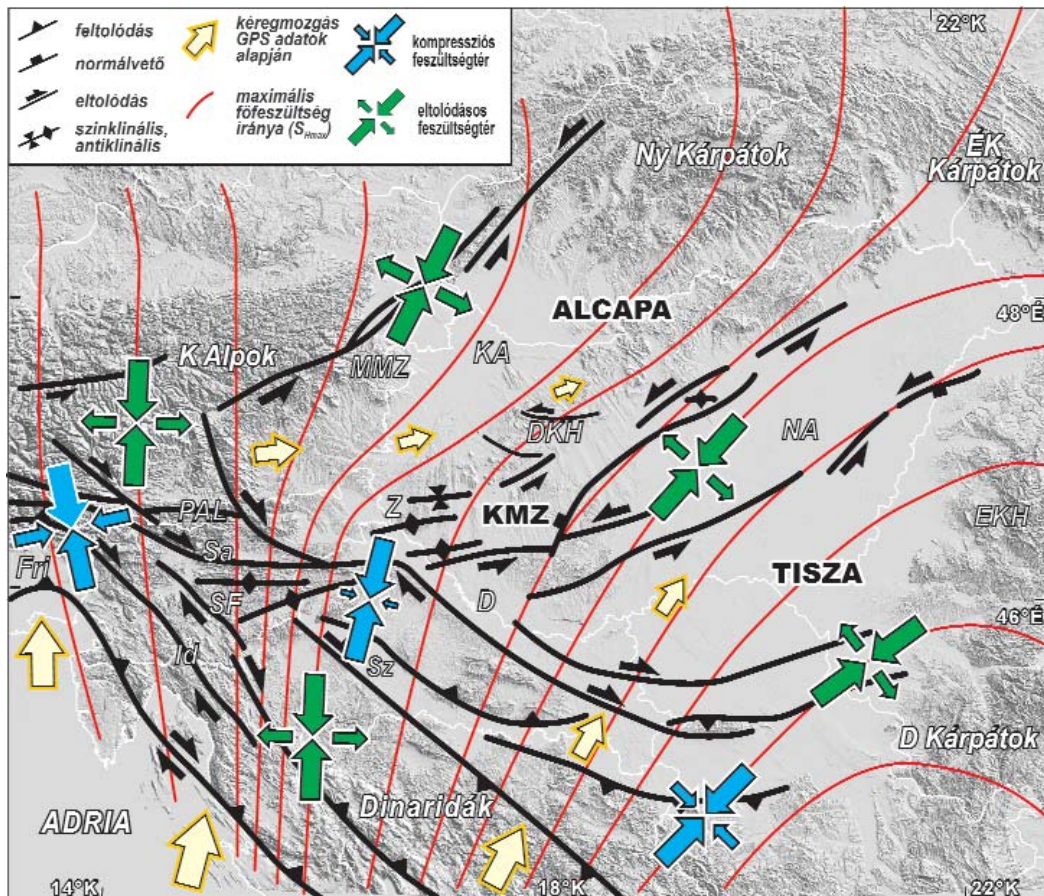
Eszerint a Pannon-medence aljzatát alkotó két blokk (Alcapa és Tisza–Dácia) alpi kollíziós zónából történő extrúzió során került a kárpáti flismedence területére (BALLA 1987, CSONTOS et al. 1992). A flismedence óceáni litoszférájának szubdukciós hátragördülése tette lehetővé a kiszökő egységek extenziós feldarabolódását és a medenceképződést (HORVÁTH 2004). A flismedence aljzatának elfogyásával, a hátragördült lemez függőlegessé válásával nem volt további tér az extenzióra és a medence feszültségére az Adria nyomásának hatására fokozatosan kompressziósra váltott (BADA et al. 2007). Ez a neotektonikus folyamat a pliocénben kezdődött és a jelenben is folytatódik (12. ábra).

A neotektonikus szerkezetalakulást alapvetően a főfeszültségek orientációja és a korábbi vetők (gyengeségi zónák) irányának egymáshoz való viszonya határozza meg (12. ábra). Ezt a kőzetmechanikai szempontból kézenfekvő megállapítást a tapasztalat igazolja (BADA et al. 2007). Nyugatról kelet felé haladva a Pannon-medencében és a környező orogéneknél a következő jellegzetes szerkezeti stílusok jöttek/jönnek létre (12. ábra):

— A Keleti-Alpokban a maximális főfeszültség vízszintes és közel É–D irányú, míg a rá merőleges és ugyancsak vízszintes helyzetű főfeszültség a minimális értékű. Ilyen feszültségtér ÉK–DNy irányú balos és ÉNy–DK irányú jobbos oldalelmozdulásokat generál. Ez a konjugált oldalelmozdulásos vetőpár teszi lehetővé, hogy az Alpok keleti irányú kipréselődése a jelenben is folytatódjék (RATSCHBACHER et al. 1991).

— A Dunántúl DNy-i részén, Szlovákiában és a Dráva–Száva közén a maximális főfeszültség iránya közel merőleges a korábbi (szinrift) vetőkre, ezért a feltolódás, s az ehhez kapcsolódó gyűrődés a jellemző szerkezeti stílus. Gyakran előfordul, hogy a korábbi, szinrift félárok invertálódása során alakul ki gyűrt antiklinális a medencét kitöltő üledékekben (13. ábra). A felszínen 5–15°-os rétegdőléssel jellemzett boltozathoz ekkor nem feltétlenül tartozik aljzatkiemelkedés és az invertált normálvető általában nem hatol fel a felszínig (vakvető).

— Az Adria rotációja olyan feszültségteret hoz létre a Dinaridákban, a dalmát tengerparttól a Dráva-árokig, amely

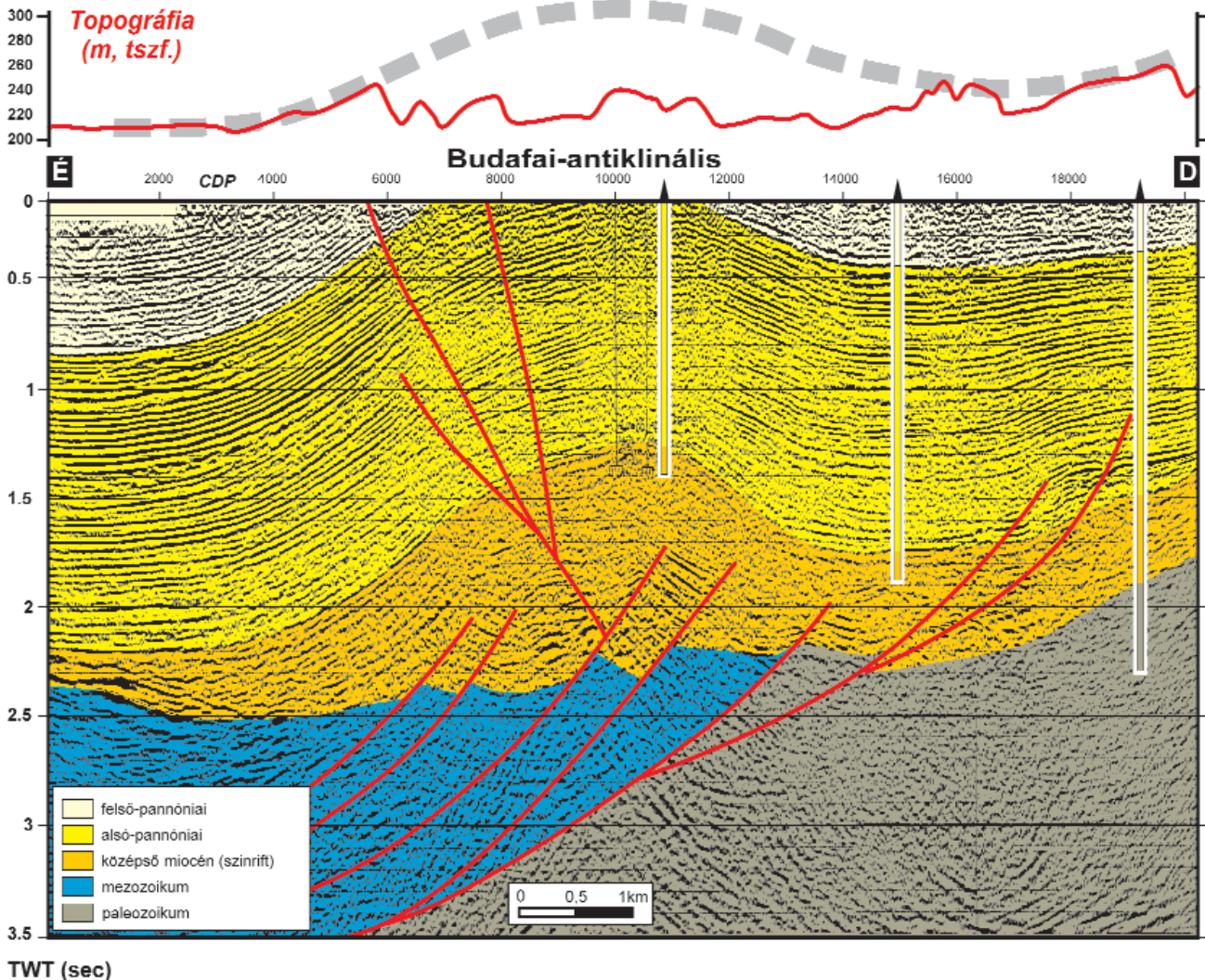


12. ábra. A Pannon-medence és környezetének generalizált maximális főfeszültség trajektóriái és deformációi (BADA et al. 2007)

D = Dráva-medence, DKH = Dunántúli-középhegység, EKH = Erdélyi-középhegység, Fri = Friuli-zóna, Id = Idria-vető, Ka = Kisalföld, KMZ = Középmagyarországi nyirási zóna, MMZ = Mur–Mürz–Zsolna oldalelmozdulás, Na = Nagyalföld, PAL = Periadriai-vonal, Sa = Száva-vonal, SF = Száva-redők, Sz = Száva-árok, Z = Zalai-medence

Figure 12. Main structural features and the smoothed trajectories of the maximum principal stress in the Pannonian Basin and its surroundings (BADA et al. 2007)

D = Drava trough, DKH = Transdanubian Range, EKH = Apuseni Mts, Fri = Friuli zone, Id = Idria fault, Ka = Little Hungarian Plain, KMZ = Mid-Hungarian shear zone, MMZ = Mur–Mürz–Zilina strike-slip, Na = Great Hungarian Plain, PAL = Periadriatic line, Sa = Sava line, SF = Sava folds, Sz = Sava trough, Z = Zala Basin



13. ábra. Értelmezett ipari szeizmikus szelvény a Budafai-antiklinális felett. A szelvény kiválóan dokumentálja az egykori félárok neotektonikus inverzióját és a kialakult gyűrődést (HORVÁTH 2007)

Figure 13. Interpreted seismic section above Budafa anticline (SW Transdanubia). The section documents the reactivation of the former half-graben and the related folded structure (HORVÁTH 2007)

a hegység tengelyvonalaival párhuzamos csapású jobbos oldalelmozdulásokat generál.

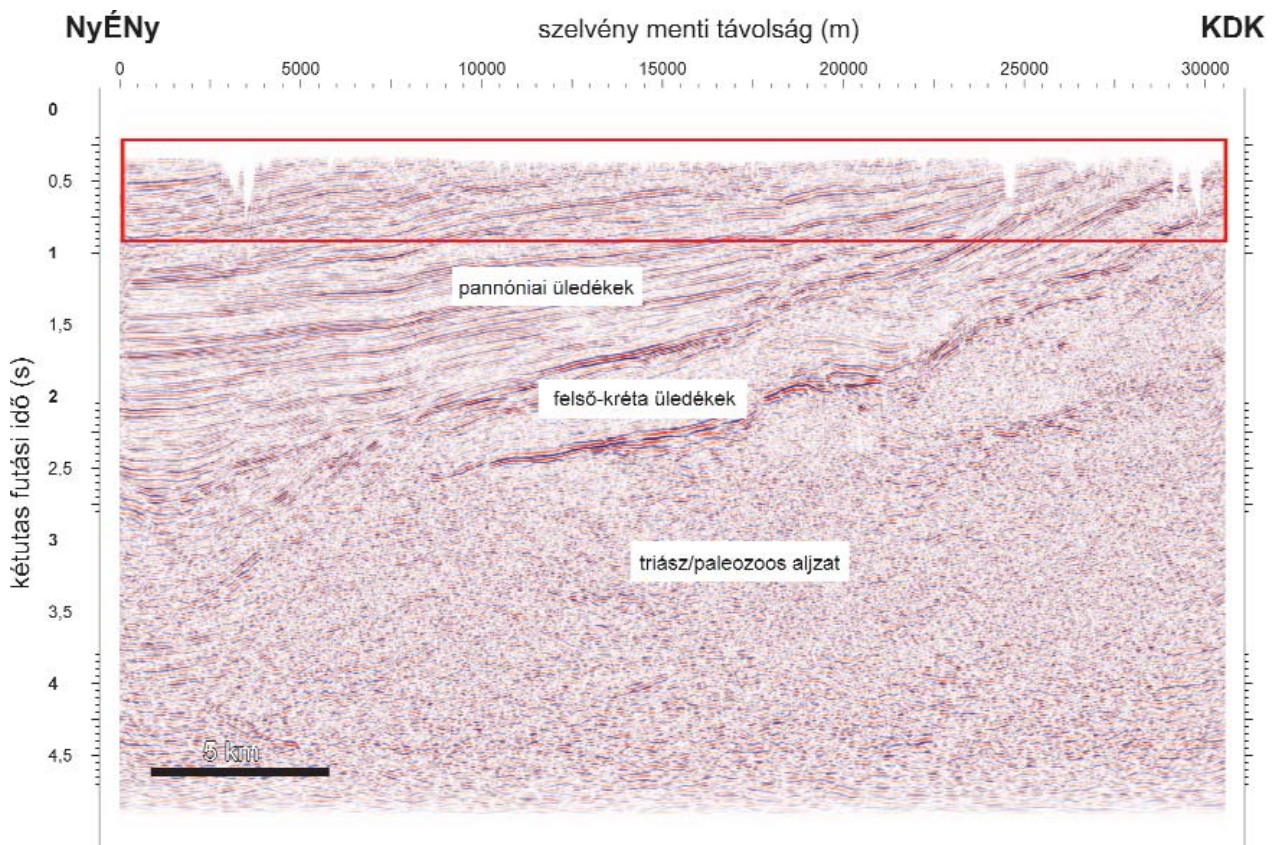
— A Dunántúli-középhegység területén a maximális főfeszültség irányában jelentős változás mutatkozik: a hegységvonalat tengelyével párhuzamosan haladnak a maximális főfeszültség trajektóriái. Ez a nyomóerő hajtja feltehetőleg a középhegység fiatal kiemelkedését és ennek következménye a szárnyait (egykor talán az egész középhegységet) fedő pannóniai üledékek eróziós lefejeződése is (14. ábra). A kibillent és enyhén hajlados pannóniai rétegek különböző hullámhosszú, lapos szinklinálisokat és antiklinálisokat hoznak létre, amelyekben a rétegdőlések nem haladják meg a  $2\text{--}3^\circ$ -ot.

— Ebben a feszültségtérben a középhegységi ívelt jobbos oldalelmozdulások (9. és 10. ábra) balos oldalelmozdulásként reaktiválódhatnak. Az űrgeodéziai mozgásvizsgálatok szerint (GRENERCZY et al. 2005) zömében a középhegység dunántúli részén disszipálódik az Alcapa-

egység keleties mozgása és ezért nagy itt a szeizmikus energia felszabadulás is (pl. Berhida, Mór, Komárom, Zsámbék vidéke, TÓTH et al. 2002).

— A Kisalföld nagy részén a maximális főfeszültség iránya párhuzamos a korábbi nagyszerkezeti vonalakkal. Ennek megfelelően a Rába-vonal és a hasonló csapású más aljzatszerkezeti elemek neotektonikai aktivitást nem, vagy alig mutatnak. Változik a helyzet a Bécsi-medencével határos szegélyterületeken, ahol a Mur–Mürz-vonal folytatása egészen Zsolnáig, valamint ezzel párhuzamos több kisebb vető balos eltolódásként működik, amelyhez jól definiált földrengés-tevékenység kapcsolódik (TÓTH et al. 2002).

— A zalai területekről keletre a Dunántúlon és az egész Nagyalföldön a maximális főfeszültségirányok egyes szöveget zárnak be a korábbi szerkezeti vonalakkal (szinrift vetők és/vagy kréta takaróhatárok). Ennek megfelelően a jellegzetes tektonikai stílus a KÉK–NyDny csapású balos oldalelmozdulás, amely a medenceüledékekben a felszínig



14. ábra. Szeizmikus szelvény a Dunántúli-középhegység északi pereméről

A szelvény felső részén megfigyelhető a hegység kiemelkedése következtében eróziósan lefejezett pannóniai rétegek sorozata (piros téglalappal jelölve). Emellett a szelvény menti 17 500 m-nél oldalelmozduláshoz tartozó virágszerkezetet alkotó vetők is láthatók, amely az aljzatban meglévő, korábbi feltolódási síkhoz kapcsolódik

**Figure 14.** Seismic profile from the northern periphery of the Transdanubian Range

Erosional truncation of the Pannonic strata due to the uplift of the range is clearly observable at the upper part of the profile (red box). Additionally, a basement related flower structure is also seen at 17,500 m along the profile

felő 1-2 km széles virágszerkezeteket hoz létre (14–15. ábra). Térképi nézetben a virágszerkezetek általában még szélesebbek, és a nyírási zónákra jellemző másodlagos szerkezeti elemek (Riedel-törések, kulisszás helyzetű normálvetők és feltolódások stb.) is azonosíthatók szeizmikus szelvények alapján. Geomorfológiai manifesztációjuk a medenceterületeken azonban nem mutatható ki, mert a felszínalakító folyamatok ezeket felülírják (FODOR et al. 2005). Különleges eset az, amikor a preneogén medence-aljzat a felszínen van (pl. a Mecsek) és ekkor a nyírási zónákhoz kapcsolódó szerkezeti elemek a felszínen is megnyilvánulnak (NÉMEDI-VARGA 1983, 1998; CSONTOS et al. 2002).

Az itt felsorolt szerkezeti stílusokra több konkrét példát adunk egy az e kötetben szereplő másik cikkben (BADA et al., jelen kötet).

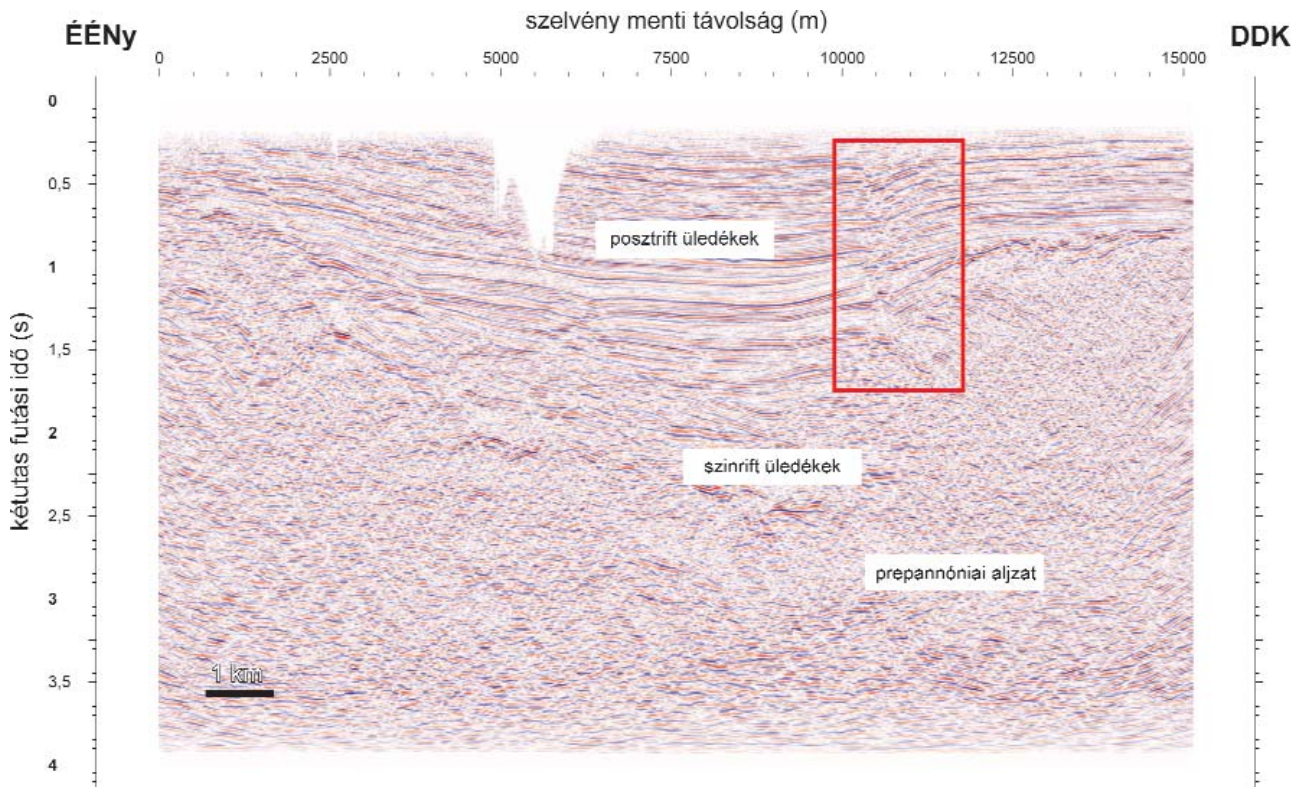
Amikor úgy véljük, hogy haladás történt a fiatal szerkezetalakulás fő stílusának megismerésében, akkor egyre határozottabban fogalmazódik meg a régi kérdés: mi irányítja a recens felszínfejlődést? Néhányan továbbra is úgy gondolják, hogy a meridionális és longitudinális morfológiai elemek olyan markánsak, hogy kialakulásuk tektonikusan preformált, még ha ez a tektonika szeizmikusan nem is dokumentálható (SÍKHEGYI 2002). Bár a közelmúltban számos tanulmány keletkezett, amely a Balaton előterének

szerkezeti stílusait elemzi, egyértelmű válasz továbbra sem volt adható. A neotektonikus deformáció és a felszínfejlődés közötti kapcsolat kutatásában kiemelkednek a Somogyi-dombság területén végzett vizsgálatok (CSONTOS et al. 2005, MAGYARI et al. 2005).

Megállapításra került, hogy a longitudinális völgyek tekintetében a szerkezeti kontrol valószínűsíthető, mégpedig a negyedidőszak során reaktivált vakvetők és felettük kialakult gyűrődések formájában. MAGYARI et al. (2005) terepi megfigyelések alapján több, váltakozó uralkodó feszültségirányt határozott meg a pleisztocén során. Az ÉÉNy–DDK-i csapású, meridionális völgyek esetében, bár a vizsgálatok egyértelmű bizonyítékot nem szolgáltatottak, a szerzők itt is a tektonika elsődleges szerepét állapítják meg, amely felszínformákat később a szél- és folyóvízi erózió hangsúlyosabbá tett.

Megjegyzendő, hogy az ipari szeizmikus szelvények korlátozott felbontóképessége miatt elvileg nem lehet kizárni 20 m-nél kisebb elvetéssel rendelkező, meridionális szerkezetek meglétét. A Balatonon végzett vízi szeizmikus szelvényezések azonban 10 cm-es felbontással sem mutattak ki közel meridionális irányú fiatal vetődéseket, míg a longitudinális irányban markáns vetőzóna képe rajzolódott ki (BADA et al., jelen kötet). Másrészt, a leképezett pannóniai üledékekben tapasztalt redőzöttség és a Balaton előterében





15. ábra. A Duna–Tisza közén készült szeizmikus felvétel, egy a Közép-magyarországi nyírózónához tartozó, fiatal üledékeket átmetsző, tipikus neotektonikus virágszerkezetet mutat (piros téglalappal jelölve)

Figure 15. The seismic profile acquired in the central Pannonian Basin shows a typical neotectonic flower structure transecting the young sediments (red box). The fault system belongs to the Mid-Hungarian Shear Zone

elhelyezkedő völgyek és hátaik váltakozása korrelációt nem mutat (HORVÁTH et al., jelen kötet). Ezen tények azoknak a tábort erősítik, akik visszatérnek a szélerózió fontosságának hangsúlyozásához (pl. JÁMBOR 2002). A térképezett, nagy elvetéssel jellemezhető miocén vetők működése és a meridionális völgyek elhelyezkedése között közvetlen összefüggés nem mutatható ki. A kismértékű elvetések következtében pedig csupán kisebb völgyszakaszok jöhettek létre, tehát valószínűtlen, hogy ezek a kis szerkezeti elemek a több km hosszú völgyek teljes egészét kialakíthatják (FODOR et al. 2004). A szélerózió dominanciájának alátámasztására a legújabb vizsgálatokat is bemutatjuk a kötetben (CSILLAG et al., jelen kötet).

## Zárszó

A Balaton és környéke kutatásának több mint egy évszázados történetét áttekintve bemutattuk, hogy a magyar tektonika két alapvető kérdését itt fogalmazták meg a legmarkánsabban. Nevezetesen azt, hogy a Pannon-medence mezozoos–paleozoos aljzata merev tömegként, avagy az orogén szerves részeként vett részt a terület alpi fejlődéstörténetében, majd ezt követően a medence alakulás fiatal tektonikáját gyűrődéses vagy töréses tektonika jellemezte-e?

Láttuk, hogy LÓCZY Lajos koncepciója mindkét kérdésben tévesnek bizonyult, mégis ő volt az a mester kinek

eredményeit felhasználni, továbbfejleszteni vagy megtagadni igyekezett a magyar földtudomány majd fél évszázadon keresztül. Leghevesebb bírálója PÁVAI VAJNA Ferenc volt, ki mindkét kérdésben koncepcionálisan előremutató álláspontot képviselt.

Ma már megértjük, hogy a Pannon-medence délnyugati peremvidékére jellemző gyűrt szerkezeteket gondos felszíni dőlésmérésekkel fel lehetett ismerni, de a többi medence-területen erre a kis dőlésszögek miatt nem volt meg a lehetőség. Egyúttal az is világossá vált, hogy az aljzatmagaslatok és a felszínközeli rétegek dőlésviszonyai között nem kell feltétlen szoros kapcsolatnak lennie (vö. 13–15. ábra), tehát a VAJK Raul által dokumentált ellentmondás (8. ábra) e kérdésben nem igazán perdöntő.

A Pannon-medence kialakulásához és fiatal fejlődéstörténetéhez kapcsolódó oldalelmozdulásos tektonikát a hegységi területeken lehetett először térképezni. A modern (digitális) szeizmikus felvételezés és adatfeldolgozás eredményei alapján ismertük fel, hogy ez az uralkodó szerkezeti stílus az egész medencében. Ez a felismerés elengedhetetlenné teszi a felszínformáló folyamatok újszerű vizsgálatát modern analitikai módszerek bevonásával.

A Dunántúli-középhegység és az egész Pannon-medence aljzatának takarós szerkezetéről szintén a szeizmika adott képet, de a környező orogénekkal való rétegtani korreláció mellett a metamorf magkomplexumok kitarodási történetének a megismerése tette kétségbevonhatatlanná ezt a megállapítást.

### Köszönetnyilvánítás

Ezt a munkát a TS044567 és NK 60445 ny. számú OTKA pályázatok keretében és támogatásával végeztük. DOMBRÁDI Endre köszöni az ISES-től (PannCarp 2.1.1) kapott támogatást. A szeizmikus szelvényekkel való munkában a

Landmark University Grant és az SMT University Grant keretében rendelkezésünkre bocsátott szoftverek voltak segítségünkre. Ezúton köszönjük TIMÁR Gábor segítségét a 6. és 7. ábra előállításában. Köszönet illeti CSONTOS Lászlót és KÁZMÉR Miklóst hasznos megjegyzéseikért, amelyek által a kézirat jobbá válhatott.

### Irodalom — References

- ÁDÁM, A. 1977: The Transdanubian crustal conductivity anomaly. — *Acta Geod. Geophys. Mont. Hung.* **12**, 73–79.
- ÁDÁM O., HAAS J., NEMESI L., REDLERNÉ TÁTRAI M., RÁNER G. & VARGA G. 1984: Földtani alapszelvények geofizikai vizsgálata. — *MÁELGI 1983. évi jelentése*, 37–44.
- BADA G., DÖVÉNYI P., HORVÁTH F., SZAFIÁN P. & WINDHOFFER G. 2007: Jelenkori feszültségtér a Pannon-medencében és alpi környezetében. — *Földtani Közlemények* **137**, 327–359.
- BADA G., SZAFIÁN P., VINCZE O., TÓTH T., FODOR L., SPIESS V. & HORVÁTH F. 2010: Neotektonikai viszonyok a Balaton keleti medencéjében és tágabb környezetében nagyfelbontású szeizmikus mérések alapján — *Földtani Közlemények*, jelen kötet.
- BALLA, Z. 1987: Tertiary paleomagnetic data for the Carpatho–Pannonian region in the light of Miocene rotation kinematics. — *Tectonophysics* **139**, 67–98.
- BÖCKH H. 1930: Lóczy Lajos és a magyar geológia. — *Földrajzi Közlemények* **58**, 106–115.
- BÖHM F. 1939: Ásványolaj- és földgázkutatás és termelés 1935-től, a mai állapot és a jövő kilátásai. — *Bányászati és Kohászati Lapok* **72**, 153–189.
- CHOLNOKY J. 1911: A kecskeméti földrengés. — *Földrajzi Közlemények* **39**, 373–391.
- CHOLNOKY J. 1918: A Balaton hidrológiája. — LÓCZY L. (szerk.): *A Balaton Tudományos tanulmányozásának eredményei*, I. kötet, 2. rész. Kilián F. bizománya, Budapest, 316 p.
- CHOLNOKY J. 1936: *Magyarország földrajza. — A Föld és élete. VI. kötet.* — Franklin Társulat, Budapest, 530 p.
- CSILLAG G., FODOR L., SEBE K., MÜLLER P., RUSZKICZAY-RÜDIGER Zs., THAMÓNÉ BOZSÓ E. & BADA G. 2010: A defláció szerepe a Dunántúl hegységi és dombvidéki területeinek felszínfejlődésében. — *Földtani Közlemények*, jelen kötet.
- CSONTOS, L., NAGYMAROSY, A., HORVÁTH, F. & KOVÁC, M. 1992: Tertiary evolution of the intra-Carpathian area: a model — *Tectonophysics* **208**, 221–241.
- CSONTOS, L., BENKOVICS, I., BERGERAT, F., MANSY, J.-L. & WÓRUM, G. 2002: Tertiary deformation history from seismic section study and fault analysis in a former European Tethyan margin (the Mecsek-Villány area, SW Hungary). — *Tectonophysics* **367**, 51–71.
- CSONTOS, L., MAGYARI, Á., VAN VLIET-LANOË, B. & MUSITZ, B. 2005: Neotectonics of the Somogy hills (part II): evidence from seismic sections. — *Tectonophysics* **410**, 63–80.
- DINTER, D. A., MACFARLANE, A., HAMES, W., ISACHSEN, G., BOWRING, S. & ROYDEN, L. 1995: U-Pb and <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar geochronology of the Symvolon granodiorite: Implications for the thermal and structural evolution of the Rhodope metamorphic core complex, northeastern Greece. — *Tectonics* **14**, 886–908.
- DUNKL, I., GRASEMANN, B., & FRISCH, W. 1998: Thermal effects of exhumation of a metamorphic core complex on hanging wall synrift sediments — an example from the Rechnitz Window, Eastern Alps. — *Tectonophysics* **297**, 31–50.
- EÖTVÖS L. 1889: A Szent Gellérthegy vonzó erejére vonatkozó vizsgálatok. — *Természettud. Közl.* **21**, 198–206.
- EÖTVÖS L. 1900: A nehézségi és mágneses erő-nívófelületeinek és változásainak meghatározásáról. — *Math. és Fizikai Lapok* **9**, 361–385.
- ERDÉLYI FAZEKAS J. 1943: A Balatonfelvidéki geológiai és hegyszerkezeti viszonyai a Veszprémi-fennsíkon és Vilonya környékén. — *A Magyar Királyi Földtani Intézet Évkönyve* **36**, 1–29.
- ERDÉLYI M. 1961: Külső-Somogy vízföldtana 1. — *Hidrológiai Közlemények* **41**, 445–458.
- ERDÉLYI M. 1962: Külső-Somogy vízföldtana 2. — *Hidrológiai Közlemények* **42**, 56–65.
- FODOR, L., KOROKNAI, B., BALOGH, K., DUNKL, I. & HORVÁTH, P. 2003: A Dunántúli-középhegységi-egység (Bakony) takarós helyzete szlovéniai szerkezeti-geokronológiai adatok alapján (Nappe position of the Transdanubian Range Unit (Bakony) based on new structural and geochronological data from NE Slovenia). — *Földtani Közlemények* **133**, 535–546.
- FODOR, L., BADA, G., CSILLAG, G., HORVÁTH, E., RUSZKICZAY-RÜDIGER, Zs. & SÍKHEGYI, F. 2004: New data on neotectonic structures and morphotectonics of the western and central Pannonian Basin. — In: FODOR, L. & BREZSNYÁNSZKY K. (eds): *Occasional Papers of the Geol. Inst. of Hungary* **204**, 35–44.
- FODOR, L., BADA, G., CSILLAG, G., HORVÁTH, E., RUSZKICZAY-RÜDIGER, Zs., HORVÁTH, F., CLOETINGH, S., PALOTÁS, K., SÍKHEGYI, F. & TIMÁR, G. 2005: An outline of neotectonic structures and morphotectonics of the western and central Pannonian basin. — *Tectonophysics* **410**, 15–41.
- GERNER, P., BADA, G., DÖVÉNYI, P., MÜLLER, B., ONCESCU, B., CLOETINGH, S. & HORVÁTH, F. 1999: Recent tectonic stress and crustal deformation in and around the Pannonian basin: data and models. — In: DURAND, B., JOLIVET, L., HORVÁTH, F., & SÉRRANE, M. (eds.): *The Mediterranean basins: Tertiary extension within the Alpine orogen.* — *Geol. Soc. Spec. Publ. London* **156**, 269–294.
- GRENERCZY, Gy., SELLA, G. F., STEIN, S. & KENYERES, A. 2005: Tectonic implications of the GPS velocity field in the northern Adriatic region. — *Geophysical Research Letters* **32**, L16311, doi:10.1029/2005GL022947.

- HORVÁTH, F. 1993: Towards a mechanical model for the Pannonian Basin. — In: CLOETHING, S., SASSI, W. & HORVÁTH, F. (eds.): The origin of sedimentary basins: inferences from quantitative modelling and basin analysis. — *Tectonophysics* **226**, 333–358.
- HORVÁTH, F. 2004: A Pannon-medence földtani-geofizikai modellje. — *Magyar Geofizika* **45**, 102–107.
- HORVÁTH, F. 2007: A Pannon-medence geodinamikája, eszmetörténeti tanulmány és geofizikai szintézis. — *MTA adattár, akadémiai doktori értekezés*, Budapest, 238 p.
- HORVÁTH, F., ÁDÁM, A. & STANLEY, W. D. 1987: New geophysical data: evidence for allochtony of the Transdanubian Central Range. — *Rend. Soc. Geol. Ital.* **9**, 123–130.
- HORVÁTH, F., SACCHI, M. & DOMBRÁDI, E. 2010: Pannon medenceüledékek szeizmikus sztratigráfiai és tektonikai vizsgálata Dél-Dunántúlon és a Balatonon. — *Földtani Közlöny*, jelenkötet.
- LÓCZY L. ifj. 1925: A Dunántúl hegyszerkezetéről. — *Földtani Közlöny* **55**, 57–63.
- JÁMBOR Á. 2002: A magyarországi pleisztocén éleskavics előfordulások és földtani jelentőségük. — *Földtani Közlöny* **132**, 101–116.
- KOBER, L. 1921–1928: *Der Bauder Erde, 1st and 2nd ed.* — Gb. Bornträger, Berlin, 324 p. and 499 p., resp.
- LACZKÓ D. 1911: Veszprém városának és tágabb környékének geológiai leírása. — In: LÓCZY L. (szerk.): *A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei* I. kötet, 1. rész: Geológiai, petrológiai, mineralógiai és ásványchemiai függelék. Budapest, Kilián F. Bizománya, 3–189 p.
- LÓCZY L. 1913a: A Balaton környékének geológiai képződményei és ezeknek vidékek szerinti telepedése. A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei. I. kötet, 1. rész, 1. szakasz, Budapest, Kilián F. Bizománya, 617 p.
- LÓCZY L. 1913b: Balaton környékének geomorfológiája. — *Pótfüzetek a Természettud. Közölny, 45. kötetéhez*, 1–2. pótfüzet, 17 p.
- LÓCZY L. 1918: Magyarország földtani szerkezete. — In: LÓCZY L. (szerk.): *A magyar Szent Korona Országainak földrajzi, társadalomtudományi, közművelődési és közgazdasági leírása*, I. kötet, A M. Földr. Társ. kiadványa Budapest, 5–43.
- LÓCZY L. 1920: Nyugatszerbiai tanulmányutam. — *Földrajzi Közlemények* **48**, 82–84.
- LÓCZY, L., CHOLNOKY, J., KORMOS, T., LACZKÓ, D., LÁSZLÓ, G., TAEGER, H., TREITZ, P., VADÁSZ, E. & VITÁLIS, I. 1920a: A Balaton-tó környékének részletes geológiai térképe 4 lapon, 1:75 000. — A M. Földr. Társ. Balaton Biz., Budapest.
- LÓCZY L. ifj. 1917: A Balatonfelvidék hegyszerkezeti képe Balatonfüred környékén. — *Magyar Királyi Földtani Intézet Évi Jelentése 1916-ról*, 353–388.
- LÓCZY L. ifj. 1925: A Dunántúl hegyszerkezetéről. — *Földtani Közlöny* **55**, 57–63.
- LÓRINCZ K. & SZABÓ P. 1992: Többfázisú oldaleltolódásos tektonizmus vizsgálata a Szolnok-környéki szeizmikus szelvényeken. — *Magyar Geofizika* **33**, 85–108.
- MAGYARI, Á., MUSITZ, B., CSONTOS, L. & VAN VLIET-LANOË, B. 2005: Neotectonics of the Somogy hills (part I): evidence from field observations. — *Tectonophysics* **410**, 43–62.
- MATTICK, R.E., TELEKI, P.G., PHILLIPS, R.L., CLAYTON, J.L., DÁVID, GY., POGÁCSÁS, GY., BARDÓCZ, B. & SIMON, E. 1996: Structure, stratigraphy, and petroleum geology of the Little Plain basin, northwestern Hungary. — *AAPG Bull.* **80**, 1780–1800.
- MÉSZÁROS, J. 1983: A bakonyi vízszintes eltolódások szerkezeti és gazdaságföldtani jelentősége. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1981. évről*, 485–502.
- MIKE K. 1991: *Magyarország ösvízrajza és felszíni vizeinek története.* — Aqua Publ., Budapest, 697 p.
- NÉMEDI VARGA Z. 1983: A Mecsek hegység szerkezetalakulása az alpi hegységképző ciklusban. — *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1981. évről*, 467–484.
- NÉMEDI VARGA Z. 1998: A Mecsek- és a Villányi-egység jura képződményeinek rétegtana. — In: BÉRCZI I. & JÁMBOR Á. (szerk.): *Magyarország geológiai képződményeinek rétegtana*. MolRt, és MÁFI, Budapest, 319–336.
- PAPP S. 1939: A Magyar-Amerikai Olajipari Rt. földiolaj- és földgázkutatásai Dunántúlon. — *Bányászati és Kohászati Lapok* **72**, 200–241.
- PÁVAI VAJNA F. 1923: Válasz a magyar földgázkutatás kritikájára. — *Földtani Közlöny* **51–52**, 21–30.
- PÁVAI VAJNA F. 1925: A földkéreg legfiatalabb tektonikus mozgásairól. — *Földtani Közlöny* **55**, 63–85.
- PÁVAI VAJNA F. 1930: Magyarország hegységeinek szerkezeti vázlata. — *Földtani Közlöny* **60**, 7–33.
- PÁVAI VAJNA F. 1943: A Dunántúl hegyszerkezete. — *A Magyar Királyi Földtani Intézet 1943. évi Jelentésének Függeléke*, 5. füzet, pp. 212–223 valamint *a Hozzászólások és Válasz*, pp. 224–238.
- PEKÁR D. 1917: A báró Eötvös-féle geofizikai mérésekről. — *Bányászati és Kohászati Lapok* **50**, 486–504.
- PEKÁR D. 1941: Báró Eötvös Loránd. A tórziós inga 50 éves jubileumára. A Kis Akadémia kiadása, Budapest — *A Kis Akadémia Könyvtára* **48**, 339 p.
- POGÁCSÁS Gy. 1990: A Pannon-medence rétegtani-fácies- és tektonikai viszonyai a szénhidrogén-kutató szeizmikus mérések tükrében. — *Kandidátusi értekezés*, Budapest, 143 p.
- POGÁCSÁS Gy., LAKATOS L., BARVITZ A., VAKARCS G. & FARKAS Cs. 1989: Pliocén–kvarter oldaleltolódások a Nagyalföldön — *Általános Földtani Szemle* **24**, 149–169.
- PRINZ Gy. 1926: Magyarország földrajza. I. kötet: *Magyarország földjének származása, szerkezete és alakja.* — Danubia könyvkiadó, Pécs, 202 p.
- RATSCHBACHER, L., BEHRMANN, J. H. & PAHR, A. 1990: Penninic windows at the eastern end of the Alps and their relation to the intra-Carpathian basins. — *Tectonophysics* **172**, 91–105.
- RATSCHBACHER, L., FRISCH, W., LINZER, H.-G. & MARLE, O. 1991: Lateral extrusion in the Eastern Alps, part 2: Structural analysis. — *Tectonics* **10**, 257–271.
- RÉTHLY A. 1912: Földrengések a Balaton környékén. — In: LÓCZY L. (szerk.): *A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei*, I. kötet, 1. rész, III. szakasz. Kiadja a M. Földr. Társaság Balaton-Bizottsága, Kilián F. bizománya, Budapest, 43 p.
- RUMPLER, J. & HORVÁTH, F. 1988: Some representative seismic reflection lines from the Pannonian basin and their structural interpretation. In: ROYDEN, L. H. & HORVÁTH, F. (eds): *The Pannonian basin — A study in basin evolution.* — *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem.*, **45**, 153–169.

- SCHAFARZIK F. 1912: Elnöki megnyitóbeszéd s megemlékezés Uhlig Viktorról. — *Földtani Közlöny* **42**, 221–232.
- SÍKHEGYI, F. 2002: Active structural evolution of the western and central parts of the Pannonian basin: a geomorphological approach. In: CLOETINGH, S., HORVÁTH, F., BADA, G. & LANKREIJER, A. (eds): Neotectonics and surface processes: the Pannonian basin and Alpine/Carpathian system. — *EGU St. Mueller Spec. Publ. Ser.* **3**, 1–14.
- STERNECK R., EÖTVÖS L. & STEINER L. 1908: Geofizikai függelék. — In: LÓCZY L. (szerk.): *A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei*, I. kötet, 1. rész, I–III. szakasz. I. szakasz: Ingamérések, 28 p., II. szakasz: A Balaton nivófelülete s azon nehézség változásai, pp. 1–61., III. szakasz: A Balaton vidékén az 1901 év nyarán végzett földtudományi mérések eredményei, Kiadja a M. Földr. Társaság Balaton-Bizottsága, Kilián F. bizománya, Budapest 27 p.
- SZILÁRD J. 1984: Eötvös Loránd csavarási ingájának bevezetése a földtani kutatásba. — *Földtani Kutatás* **27**, 63–69.
- TARI, G. 1991: Multiple Miocene block rotation in the Bakony Mountains, Transdanubian Central Range, Hungary. — *Tectonophysics* **199**, 93–108.
- TARI, G. 1994: Alpine tectonics of the Pannonian basin. — *PhD értekezés*, Rice University, Houston, Texas, 501 p.
- TELEGDI ROTH K. 1935: Adatok az Északi-Bakonyból a magyar középső tömeg fiatalmezozoos fejlődés-történetéhez. — *Matematikai és Természettudományi Értesítő* **52**, 205–252.
- TELEKI, G. 1936: Adatok Litér és környékének sztratigráfiájához és tektonikájához. — *A Magyar Királyi Földtani Intézet Évkönyve* **32**, 1–61.
- TERMER, P. 1903: Les nappes des Alpes Orientales et la synthèse des Alpes. — *Bull. soc. géol. France* **3**, 711–765.
- TÓTH, L., MÓNUS, P., ZSIROS, T. & KISZELY, M. 2002: Seismicity in the Pannonian region, earthquake data. — In: CLOETINGH, S., HORVÁTH, F., BADA, G. & LANKREIJER, A. (eds): Neotectonics and surface processes: the Pannonian basin and Alpine/Carpathian system. — *EGU St. Mueller Spec. Publ. Ser.* **3**, 9–28.
- TÓTH T. & HORVÁTH F. 1998: Van bizonyíték a negyedidőszaki tektonizmusra Paks környékén! — *Földtani Közlöny* **129**, 109–124.
- TÓTH Zs., TÓTH T., SZAFIÁN P., HORVÁTH A., HÁMORI Z., DOMBRÁDI E., FEKETE N., SPIESS V. & HORVÁTH F. 2010: Szeizmikus kutatások a Balatonon — *Földtani Közlöny*, jelen kötet.
- UHLIG, V. 1903: Bau and Bild der Karpathen. — In: DIENER, C., HOERNES, R., SUESS, F. E. & UHLIG, V. (eds): *Bau und bild Österreichs*. F. Tempsky, Wien, Leipzig, pp. 651–911.
- UHLIG, V. 1907: *Über die Tektonik der Karpathen*. — Kais.-König.-Hof-und Staatsdruckerel, Wien, 111 p.
- VAJK R. 1943a: Adatok a Dunántúl tektonikájához a geofizikai mérések alapján. — *Földtani Közlöny* **73**, 17–38.
- VAJK R. 1943b: Hozzászólás dr. Pávai Vajna Ferenc: „A Dunántúl hegyszerkezete“ c. előadáshoz. — *A Magyar Királyi Földtani Intézet 1943. évi Jelentésének Függeléke* **5**, 224–228.
- ZÁMOLYI A., KOVÁCS G., SZÉKELY B. & TIMÁR G. 2010: A Bakony szerkezeti elemeinek tektonikus geomorfológiai elemzése — *Földtani Közlöny*, jelen kötet.

Kézirat beérkezett: 2010. 03. 30.