

A neotektonikus fázis deformációi Magyarországon

KOROKNAI Balázs¹, WÓRUM Géza¹, TÓTH Tamás¹, KOROKNAI Zsuzsa², NÉMETH Viktória¹, KOVÁCS Gábor^{1,3}

¹Geomega Kft., 1095 Budapest, Mester u. 4.

²Budapest Gyógyfürdői és Hévízei Zrt., 1034 Budapest, Szőlő u. 38.

³ELTE BDPK Földrajzi Tanszék, 9700 Szombathely, Károlyi Gáspár tér 4.

Deformations of the neotectonic phase in Hungary

Abstract

The ultimate goal of the research project 2018-2.2.1-NKP-2018-00007, funded by the National Research, Development and Innovation Office, was to create the seismotectonic model of Hungary. One of the key input elements of the established seismotectonic model was the newly constructed, 1:500 000 scaled, national map of the tectonic and atectonic deformations of the neotectonic phase (<6–8 Myr). The present work aims to introduce briefly the new map and the main results of the mapping completed in the frame of the project.

The new map is based on the structural interpretation of 70 3D seismic data cubes and nearly 2900 2D seismic profiles, as well as on the critical evaluation and integration of relevant results published in the neotectonic literature. The main results of the completed country-wide mapping with respect to previous neotectonic maps are summarized below:

i) A more detailed and accurate representation (actual position, extension and geometry) of young, near-surface structures (faults and folds) than in previous studies.

ii) Definition, characterization and depiction of the different types of faults and folds.

iii) An important novelty of the map is the definition and accurate country-wide representation of major pre-Pannonian deep-seated faults (so-called „root zones”) in the context of neotectonic deformation using the available seismic dataset, as well as literature data. The combined representation of „root zones” with shallow-level neotectonic structures significantly contributes the better overview and understanding of the local and regional structural context.

(iv) The geometric relationship between near-surface and deep-seated („root”) structures clearly indicates that the formation of neotectonic faults is due to the reactivation of pre-existing faults (predominantly associated with Oligo-Miocene extrusion or Miocene rifting) all over the Pannonian Basin, as also indicated by previous studies.

v) A more detailed and country-wide definition and characterization of neotectonic structural domains based on deformation style and patterns.

vi) Interpretation of Late Pannonian/Pliocene kinematics and stress field based on observed neotectonic fault pattern on a country-wide scale.

Keywords: neotectonic phase, seismic interpretation, neotectonic and pre-Pannonian faults, folds, stress field, Pannonian Basin

Összefoglalás

A Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal által támogatott, 2018-2.2.1-NKP-2018-00007 kutatási projekt végső célját Magyarország szeizmotektonikai modelljének megalkotása jelentette. A új modell egyik kulcsfontosságú elemét képezte a projekt keretében elkészült, a neotektonikus fázis (<6–8 M év) tektonikus és atektonikus eredetű deformációit bemutató új, 1:500 000 léptékű országos térkép. Jelen munka fő célja az új térkép és a kapcsolódó legfontosabb eredmények áttekintése.

A megszerkesztett új térkép alapját 70 db 3D szeizmikus adattömb és közel 2900 db 2D szeizmikus szelvény szerkezeti értelmezése, továbbá a neotektonikai szakirodalom releváns eredményeinek kritikai értékelése és integrációja képezi. Az elvégzett országos térképezés legfőbb eredményei a megelőző neotektonikai térképekkel összevetve az alábbiakban összegezhetők:

i) A fiatal, felszínközeli szerkezetek (vetők és redők) a korábbiaknál részletesebb és pontosabb ábrázolása.

ii) A vetők és redők különböző típusainak elkülönítése, jellemzése és ábrázolása.

iii) Fontos újdonság a jelentősebb prepannoniai vetős mélyszerkezetek (ún. „gyökérszónák”) pontos kijelölése és országos ábrázolása a térképezett neotektonikus deformációk kontextusában a rendelkezésre álló szeizmikus adatrendszer

és irodalmi adatok integrált felhasználásával. A „gyökérzónák” és a felszínközeli neotektonikus szerkezetek együttes ábrázolása számottevően segíti elő a vetőkép lokális és regionális szerkezeti kontextusának jobb áttekintését.

iv) A mély- és felszínközeli szerkezetek kapcsolata alapján a neotektonikus vetők kialakulása egyértelműen a megelőző – uralkodóan az oligo-miocén extrúzióhoz vagy a miocén riftesedéshez kapcsolódó – vetők reaktivációjához köthető a Pannon-medencében, összhangban a korábbi tektonikai elemzések eredményeivel.

v) Neotektonikai szerkezeti domének a korábbiaknál pontosabb és országos szintű elkülönítése és jellemzése deformációs stílus és mintázat alapján.

vi) A késő pannon/pliocén kinematika és feszültségmező interpretációja az országos vetőkép és az értelmezett elmozdulások alapján.

Tárgyszavak: neotektonikai fázis, szeizmikus értelmezés, neotektonikus és prepannóniai vetők, redők, feszültségmező, Pannon-medence

Bevezetés

A Földfizikai és Űrtudományi Kutatóintézet és a Geomega Kft. mint konzorciumi tagok részvételével 2019. január 1-jén kezdődött meg a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal Nemzeti Kiválóság Programjának keretében az a kutatási projekt (2018-2.2.1-NKP-2018-00007), amelynek végcélját „Magyarország szeizmotektonikai veszélyeztetettségi térképének megalkotása és elemzése” jelentette. A projekt végső céljának megvalósításához számos fontos kutatási mérőszám teljesítése járult hozzá (áttekintésükért lásd WÉBER et al. 2023 és KOROKNAI et al. 2023b). A projekt szempontjából kiemelkedő fontosságú eredményt képviselt a neotektonikai fázis deformációit bemutató, új országos térkép (WÓRUM et al. 2020) megszerkesztése. Az új térkép a neotektonikai fázis során aktív szerkezeti elemeket (vetők és redők) tünteti fel, amelyek azonosítását és térképezését a rendelkezésre álló, a hegyvidéki területek kivételével országos lefedettséget biztosító, 2–3D szeizmikus adatrendszer és a releváns irodalmi adatok felhasználásával végeztük el. E tanulmány fő célja az új térkép és az elvégzett térképezés legfőbb eredményeinek ismertetése a hazai szakközönség és a téma iránt érdeklődők számára reprezentatív példák bemutatásával.

A térkép a megadott hivatkozásban (WÓRUM et al. 2020) szereplő internetes elérhetőségen (nagy felbontású pdf formátumban) túl ugyancsak letölthető az alábbi helyről: <http://www.geomega.hu/letoltes/>. Itt a térkép georeferált képfomátumban is rendelkezésre áll, illetve kérésre a térképen ábrázolt vetők és redők digitális vektoros állományához való hozzáférést is biztosítjuk adatkezelési nyilatkozat kitöltése ellenében.

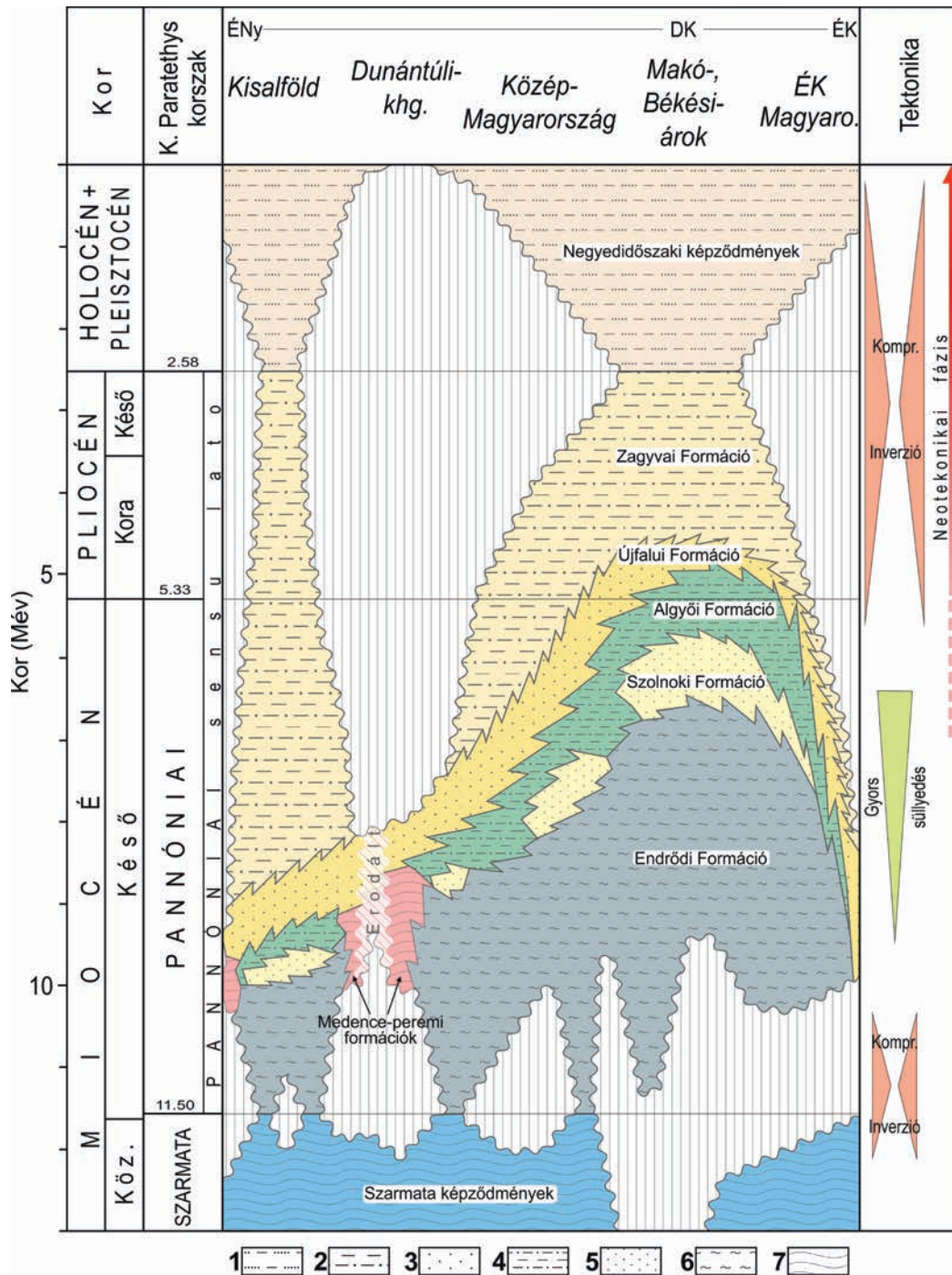
Előzmények

A jelentősebb térképi előzmények áttekintése előtt fontos rögzíteni a neotektonikus fázis meghatározását tekintettel a térkép tartalmára. Neotektonikus fázis alatt a Pannon-medence legutolsó, mintegy 6–8 millió évvel ezelőtt kezdődő fejlődési szakaszát értjük (1. ábra), amely során a medence kialakulásáért felelős extenziós/transzteniós tektonikai rezsimet felváltotta az összenyomós, illetve transzpresszív/eltolódásos rezsim (HORVÁTH & CLOETINGH 1996; FO-

DOR et al. 1999, 2005a; CSONTOS et al. 2002; BADA et al. 2007b). Ez a tektonikai stílusváltás egyúttal a medence szerkezeti inverziójával járt együtt (TARI 1994, HORVÁTH 1995, BADA et al. 1999, GERNER et al. 1999). A legfiatalabb (neotektonikus) szerkezeti inverzió (1. ábra) nem egyidejűleg zajlott a Pannon-medencében: a medence DNy-i részén mintegy 8 millió éve kezdődött (UHRIN et al. 2009), míg a medence középső és keleti részén ennél jóval később (~4–6 millió éve) jelentkeztek az első, a neotektonikus fázishoz kapcsolható deformációk (TARI 1994; HORVÁTH 1995; FODOR et al. 2005a, b; RUSZKICZAY-RÜDIGER et al. 2007; BALÁZS et al. 2016, 2018). Ez az inverzió időbelileg tehát határozottan elkülönül a késő szarmata, illetve kora pannóniai transzpressziós eseményektől (CSONTOS et al. 2005, FODOR et al. 2005b, TÖRÖ et al. 2012, vö. 1. ábra).

A medence inverziójának háttérében geodinamikai szempontból mindenekelőtt az Adriai-mikrolemez folyamatos, É/ÉK felé történő mozgása (rotációja) állt („Adria-push”; BADA et al. 2007a), amely folyamat a mai napig aktív. Másfelől a Pannon-medence a késő miocén végére szerkezetileg „blokkolt” („land-locked”) rendszerré vált (HORVÁTH 1993, HORVÁTH & CLOETINGH 1996) a kárpáti szubdukció hátragördülésének („roll back”; ROYDEN 1993, NEMČOK et al. 1998, SPERNER et al. 2002) megszűnése következtében, ami az egyes szerkezeti egységek további, számottevő keleti irányú elmozdulását már nem tette lehetővé.

Az első modern tektonikai szemléletű, országos léptékű neotektonikai áttekintés FODOR et al. (1999) munkájához kötődik, amely a 6 millió évnél fiatalabb szerkezeteket mutatja be a Pannon-medencében és szűkebb környezetében. E térkép a legjelentősebb neotektonikus szerkezetekről (pl. budafai antiklinális, Kapos-vető és annak alföldi folytatása, Balaton vetőzóna, Mecsek–Villány térség vetői, a Budai-hegység és a Gödöllői-dombság vetői stb.) és azok kinematikai interpretációjáról adott áttekintést. A hazai neotektonikai kutatás történetében mérőkövet jelentett a 2006-ban megjelent Geodinamikai Atlasz (HORVÁTH et al. 2006), amely az akkor elérhető neotektonikai ismereteket összegezte 1:1 500 000 léptékű térképen a Pannon-medencében és környezetében (2. ábra). E térkép némileg módosított változata 2009-ben jelent meg (HORVÁTH et al. 2009), amely a korábbihoz képest néhány újabb neotektonikus szerkezetet is feltüntet (pl. Hernád-vető, kisalföldi vetők), és a korábban ábrázolt elemek lefutásában/geometriájában is mutat kisebb-nagyobb változásokat.



1. ábra. A fiatal (szarmata–negyedidőszaki) medencekitöltés egyszerűsített rétegtana a Pannon-medence hazai részén (SZTANÓ et al. 2013a, b; SZTANÓ et al. 2016; BALÁZS et al. 2018 alapján) és a neotektonikus fázis definíciója (KOROKNAI et al. 2020 alapján)

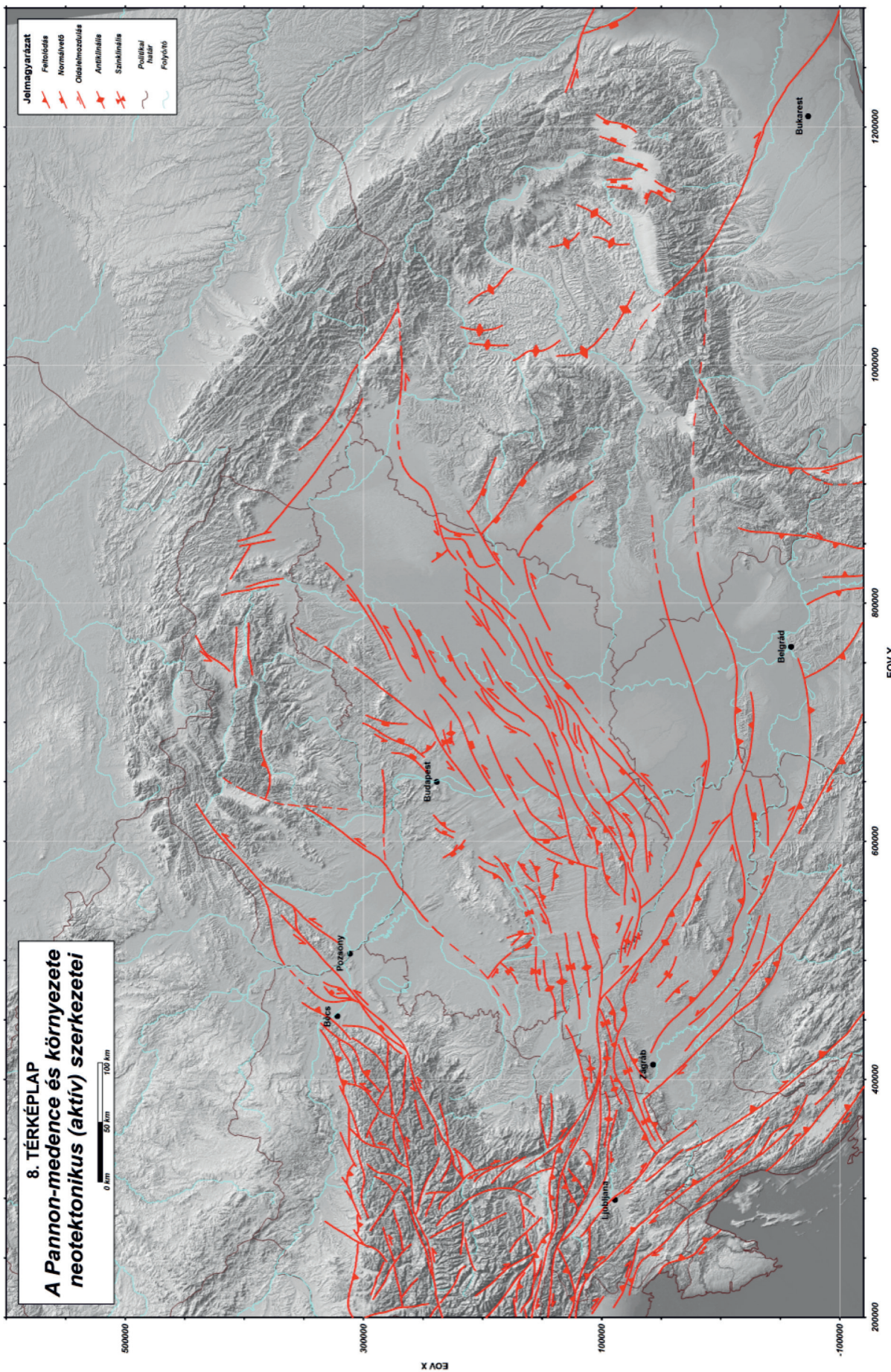
1 - Folyóvízi, tavi és eolikus üledékek (homok, kavics, agyag, lösz), 2 - Folyóvízi és tavi üledékek (homok, agyag), 3 - Selfperemi homok(kő) és agyag(már-ga) homokkő-betelepülésekkel, 4 - Mélymedence: homokkő (turbidites), agyagmár-ga, 6 - Mélymedence: már-ga, mészmár-ga, 7 - Változatos üledékek, vulkanitok

Figure 1. Overview of the stratigraphy of the young (Sarmatian to Quaternary) basin fill of the Pannonian Basin in Hungary (based on the works of SZTANÓ et al. 2013a, b; SZTANÓ et al. 2016; BALÁZS et al. 2018) and the definition of the neotectonic phase (slightly modified after KOROKNAI et al. 2020)

1 - Fluvial, lacustrine and eolic sediments (sand, gravel, clay, loess), 2 - Fluvial and lacustrine sediments (sand, clay), 3 - Shelf margin: sand(stone) and clay(marl), 4 - Shelf slope: clay(marl) with sandstone intercalations, 5 - Deep basin: sandstone (turbiditic) and clay(marl), 6 - Deep basin: marl, calcareous marl, 7 - Variable sediments, volcanites

Az említettekén kívül más modern szemléletű, országos léptékű neotektonikai áttekintés nem készült, ugyanakkor igen nagyszámú, egy-egy kisebb részterületre fókuszáló tanulmány látott napvilágot, amelyekre a felhasznált adatforrásoknál térünk ki (lásd *Felhasznált adatok és alkalmazott módszerek*).

Végül hangsúlyozzuk, hogy a korábban publikált, országos léptékű neotektonikai térképek egyike mögött sem állt széleskörű, egységes módszertan alapján szisztematikusan értelmezett, digitális formátumú 2D–3D szeizmikus adatrendszer (vö. 3. ábra). Ezenfelül az említett munkákban al-



2. ábra. HORVÁTH et al. (2006) neotektonikus térképe a Pannon-medence jelenkori geodinamikai atlasának térképsorozatából
 Figure 2. The neotectonic map of HORVÁTH et al. (2006) published as an element of the Atlas of the present-day geodynamics of the Pannonian Basin

kalmazott, a teljes Pannon-medencét átfogó lépték is hozzájárult ahhoz, hogy e térképek erősen egyszerűsített, sematikus neotektonikus vetőképét ábrázoltak. Fontos rámutatni, hogy a korábbi, sematikus vetőkép nemcsak az alkalmazott lépték következménye, hanem abban a térképek szerkesztése idején elérhető, korlátozott szeizmikus adatrendszer (jellemzően papíralapú 2D-szelvények), illetve a módszertani háttér is érdemi szerepet játszott.

Felhasznált adatok és alkalmazott módszerek

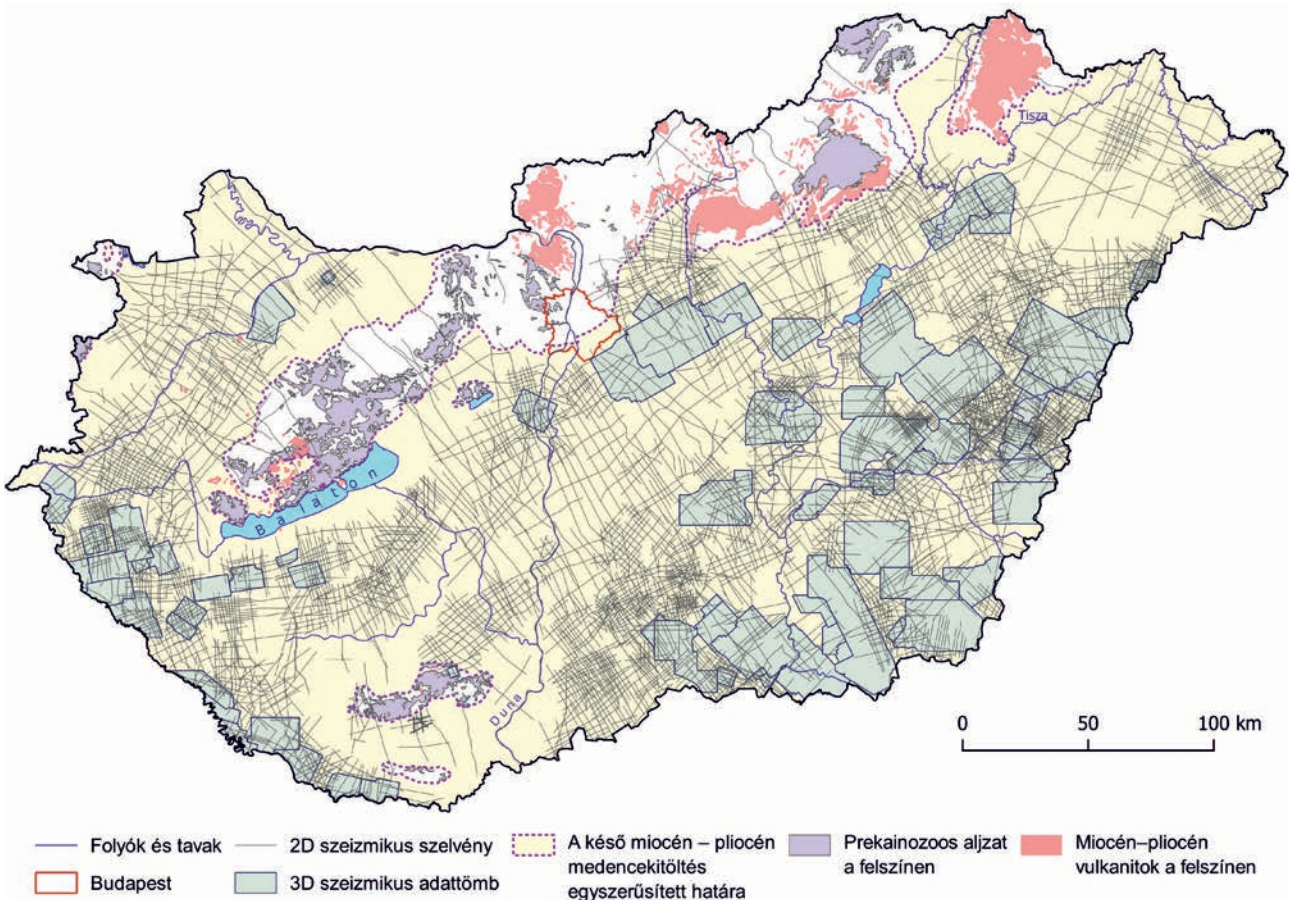
Az elvégzett országos térképezés alapját két fő adatforrás képezte.

1) A mintegy 2900 darab 2D reflexiós szeizmikus szelvényt és 70 darab 3D szeizmikus adattömböt integráló szeizmikus adatrendszer (3. ábra). Ezen adatrendszer az ipari adatok mellett tartalmazza az ország területén a Geomega Kft. által mért sokcsatornás és egycsatornás, nagy felbontású, vízi szeizmikus adatokat is (pl. Balaton, Duna, Tisza).

2) Az elérhető releváns, neotektonikai szakirodalmi adatok: CZAKÓ & ZELENKA 1981; BREZSNYÁNSZKY & SÍKHEGYI 1987; POGÁCSÁS et al. 1989; CSERNY & CORRADA 1990; FODOR et al. 1994, 1999, 2005a, b; 2008; 2013a, b; CSONTOS 1995; BALLA & DUDKO 1996; DETZKY 1997; DUDKO 1997; TÓTH & HORVÁTH 1997; HORVÁTH et al. 2006, 2009, 2019;

CSONTOS & NAGYMAROSY 1998; HALOUZKA et al. 1998; WÓRUM 1999; SACCHI et al. 1999; DETZKY et al. 2002; KÖRÖSI et al. 2002; KOVÁČ et al. 2002; LOPES CARDOZO et al. 2002; SÍKHEGYI 2002, 2008; BADA et al. 2003a-b, 2006, 2010; TÓTH 2003; WÓRUM ÉS HÁMORI 2004; CSONTOS et al. 2005; MAGYARI et al. 2004, 2005; WINDHOFFER et al. 2005; JUHÁSZ et al. 2007, 2013; NÁDOR et al. 2007; RUSZKICZAY-RÜDIGER et al. 2007, 2009; 2020; FODOR 2008; KISZELY 2008; SZÉKELY et al. 2009; KONRÁD & SEBE 2010; BODOR 2011; DUDÁS 2011; NÁDOR & SZTANÓ 2011; VÁRKONYI 2012; PETROVSZKI et al. 2012; VÁRKONYI et al. 2013; KOVÁCS et al. 2015; VISNOVITZ et al. 2015; PETRIK 2016; LOISL et al. 2018.

E tanulmányok a medence neotektonikus szerkezeteit/jelenségeit és fejlődését igen változatos módszerekkel (űr-felvételek, légifotók és geomorfológiai adatok/adatrendszerek elemzése, szeizmikus elemzés, szeizmikus adatok és fúrás adatok együttes értékelése, geomorfológiai és terepi tektonikai vizsgálatok, illetve ezen módszerek különféle kombinációi) vizsgálták többnyire egy-egy kisebb részterületen vagy ritkán országos léptékben. Az elért eredmények és a felhasznált (gyakran integrált) módszertan (pl. mélyszerkezet és felszíni morfológia kapcsolatának vizsgálata geofizikai és geomorfológiai adatrendszerek felhasználásával) alapvető fontosságú és megbízható alapot jelentettek munkánk során. A hivatkozott tanulmányokban közölt neotektonikai térképeket georeferált formában a szeizmikus



3. ábra. A felhasznált 2D és 3D szeizmikus adatrendszer és az alapvető földtani jellemzők áttekintése (KOROKNAI et al. 2020 alapján)

Figure 3. Overview of the 2D és 3D seismic database used in the project and basic geological features (based on KOROKNAI et al. 2020)

2D–3D adatrendszerrel közös projektbe integráltuk, ami lehetővé tette mindezen adatok gyors és hatékony együttes kezelését és értékelését, illetve szükség szerinti kritikai újraértékelését. Ez utóbbi nem feltétlenül csak a neotektonikai ismereteket, hanem számos esetben az adott területről korábban közölt szerkezeti modell(ek)e)t is érintette.

A térképezés során a neotektonikai szakirodalmi adatoknál ugyancsak a projektbe integráltunk számos országos vagy lokális skálájú szerkezeti és geofizikai térképet, amelyek a tektonikai értelmezésben, mindenekelőtt a fontosabb prepannóniai vetők kijelölésében fontos segítséget jelentettek (országos: FÜLÖP & DANK 1987; DANK & FÜLÖP 1990; FODOR et al. 1999, 2005c, 2008, 2013a, b; FODOR 2010; GYALOG & SÍKHEGYI 2005; KISS 2006; KISS & GULYÁS 2006; HAAS et al. 2010; lokális: NÉMEDI VARGA 1977; HETÉNYI et al. 1982; MATURA et al. 1998; KISS et al. 2001; CSONTOS et al. 2002; PALOTAI & CSONTOS 2010; TARI ÉS HORVÁTH 2010; ZÁMOLYI et al. 2010; PALOTAI et al. 2012; PALOTAI 2013; OLÁH et al. 2014; SOÓS 2017; PETRIK et al. 2018; HÉJA et al. 2018).

A szeizmikus értelmezés során alapvető célként tűztük ki a neotektonikus fázis tektonikus és atektonikus eredetű deformációinak

- egységes módszertan szerint történő, konzisztens meghatározását és országos térképezését (lásd még „*Ábrázolt térképi elemek*”),
- a korábbiaknál részletesebb (1:1 500 000 helyett 1:500 000) és pontosabb térképezését,
- a felszínközeli, valós vetőgeometria lehető legjobb ábrázolását az adott léptékben.

A szerkezeti értelmezés során kiemelt szerepet játszott a 70 db, összességében közel 18 000 km²-nyi területet lefedő, 3D szeizmikus adattömb, amelyek mindegyikére elvégeztük a vonatkozó koherenciatömb kiszámítását. A koherenciatömbökből származó koherencia-időseleitek és a megfelelő szeizmikus szelvények együttes értelmezése/keresztkorrelációja a térképezett szerkezetek (vetők, vetőszegmensek) különösen megbízható azonosítását és korrelációját tette lehetővé (vö. WÓRUM et al. 2020, 5. illusztrációja). Az így kapott jellemző szerkezeti mintázatot és stílust figyelembe véve történt meg a 3D szeizmikus adattömbökhöz csatlakozó 2D szeizmikus háló értelmezése, ami összességében nagyobb területekre is koherens szerkezeti értelmezést tett lehetővé.

A térképezés során külön hangsúlyt fektettünk az elérhető országos geofizikai és geológiai adatrendszerekkel (pl. Bouguer-térkép – KISS 2006, ami egyben a térkép hátterét is képezi), valamint a különböző projektekből már rendelkezésre álló, térképezett szeizmikus horizontok szerkezeti trendjeivel való összhang megteremtésére. A szeizmikusan nem vagy csak gyengén fedett területek esetében mindenekelőtt a releváns szakirodalmi adatokat vettük figyelembe a szerkezetek térképi ábrázolása során.

Ez a módszertan lehetővé tette, hogy a korábbi eredmények integrálásával és (szükség esetén kritikai) értékelésével széles szakmai konszenzus kialakítása mellett születessen meg a neotektonikus fázis deformációinak új, országos térképe. A térképszerkesztés módszertani hátterét bővebben KOROKNAI et al. (2020) munkája ismerteti.

Ábrázolt térképi elemek

Az új térképen olyan tektonikus és atektonikus eredetű szerkezeteket ábrázoltunk, amelyek a neotektonikus fázis (azaz az utolsó 6–8 millió év) során jöttek létre (1. ábra). E szerkezetek – vetők és redők – a szeizmikus anyagban megfelelően leképezett, legfiatalabb pannóniai rétegtani elemek (Zagyva/Újfalu Formáció) deformációját idézték elő. Sőt, helyenként az ezeket fedő és az ipari szeizmikus anyagokban megfelelő minőségben azonban csak ritkán leképezett negyedidőszaki üledékeket is deformálták (POGÁCSÁS et al. 1989, DETZKY 1997, TÓTH & HORVÁTH 1997, DETZKY et al. 2002, MAGYARI et al. 2005, FODOR 2008, HORVÁTH et al. 2019).

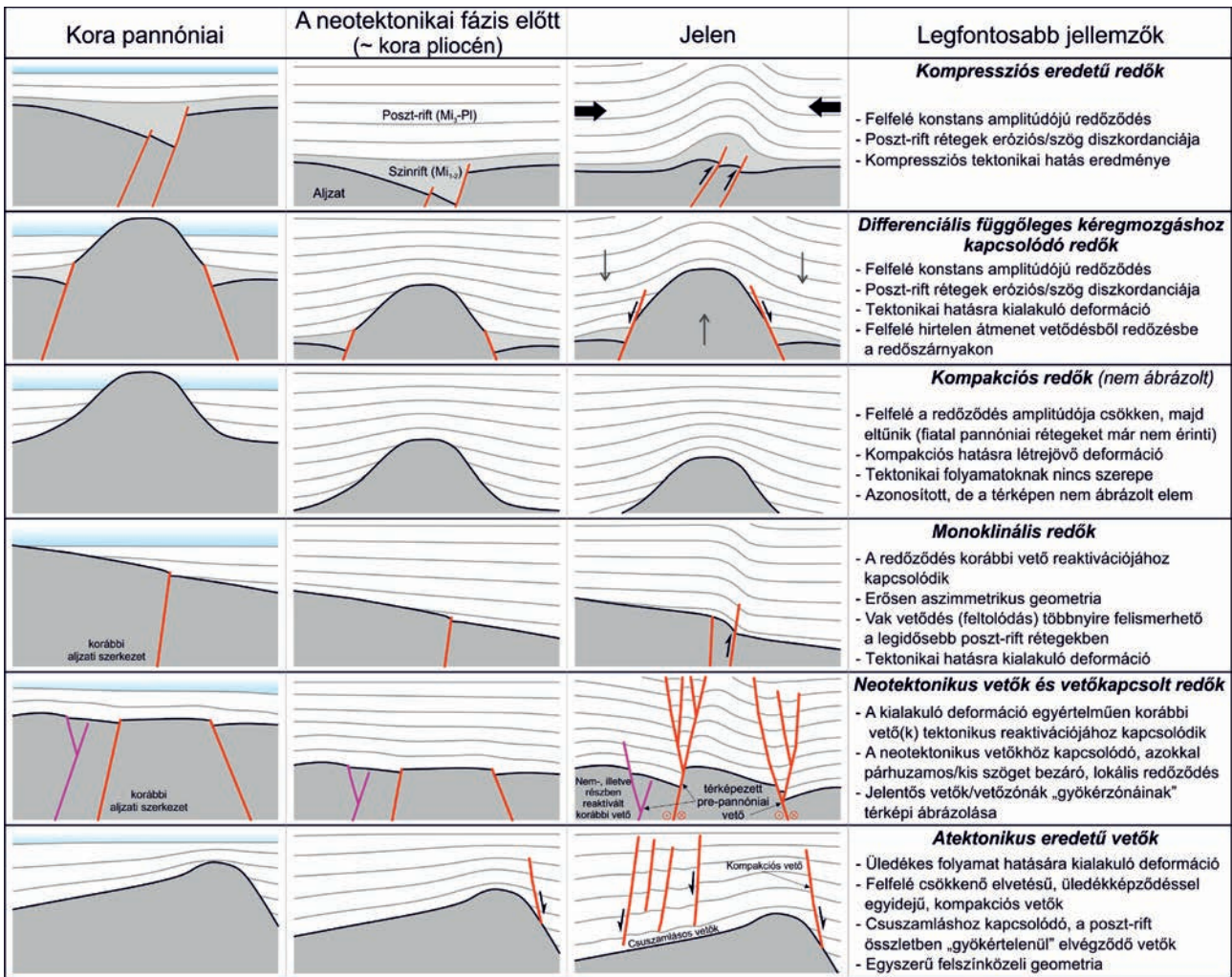
Az alábbiakban a térképezés során elkülönített és ábrázolt szerkezeti elemeket tekintjük át röviden, bemutatva ezen elemek vázlatos fejlődési sémáját és legfontosabb elkülönítő bélyegeit (4. ábra).

Vetők

A sekély mélységbe hatoló vetők közt három fő csoportot különítettünk el:

Meglévő vetők felújulásához kapcsolódó tektonikus vetők („klasszikus” neotektonikus vetők; a térképen fekete színnel jelölve). Szeizmikus szelvényen egyik legfontosabb ismervük a fiatal üledékekben megjelenő bonyolult, felfelé szétágazó, eltolódáshoz kapcsolódó virágszerkezet, illetve a hasonló geometriai megjelenésű, de genetikailag normálvető(k)höz/konjugált normálvetőkhöz kapcsolódó szerkezetek. A szeizmikus szelvényeken továbbá a felújult, idősebb (többnyire a kora és középső miocén medenceképződéshez kapcsolódó) vetők is többnyire jól azonosíthatók, amelyekhez a sekély vetők mint „mélybeli gyökérhez” kapcsolódnak (4. ábra: 5. sor).

Kompakciós vagy csuszamlásos eredetű, atektonikus vetők (a térképen lila színnel; 4. ábra: 6. sor). Ezek képződése nem (vagy csak indirekt módon) kapcsolódik már létező vetők reaktivációjához, a vetőműködést alapvetően gravitációs (esetleg szeizmológiai) hatás váltotta ki, ugyanakkor általában érintik a pannóniai rétegsor legfiatalabb elemeit (Zagyvai/Újfalu Fm.). A *csuszamlásos vetők* könnyen azonosíthatók a „gyökértelen” jellegük alapján, hiszen ezek lefelé haladva elhalnak a pannóniai rétegsorban, mielőtt elérnék a pannóniai talpi elsőrendű unkonformitást. E vetőket csapás mentén több helyen is vizsgáltuk, hogy a lefelé elvágódó jelleg megfelelő biztonsággal megállapítható legyen. Ilyen vetőkre jellegzetes példák ismertek a Kelet-Alföldön Komádi környékén (KOROKNAI et al. 2020, fig. 5.). A *kompakciós vetők* jellemzően aljzati magaslatok pereménél jelentkeznek, ahol markánsan eltérő üledékvastagság és ennek következtében eltérő kompakció alakult ki a magaslat és a szomszédos medence felett. Csapás mentén jellemzően viszonylag rövid és egyszerű geometriájú (nem „virágszerkezetű”) elemeket alkotnak, tipikus példái az Algyői-hát délnyugati peremén jelennek meg (WÓRUM et al. 2020). Ugyanakkor a kompakciós vetők azonosítása nem minden esetben egyértelmű.



4. ábra. Az új térképen ábrázolt szerkezeti elemek és azok vázlatos fejlődésének áttekintése (KOROKNAI et al. 2020 alapján)

Figure 4. Overview of the mapped structural elements and their schematic genetic evolution (based on KOROKNAI et al. 2020)

Bizonytalan/vitatott eredetű vetők: ezek esetében a tektonikus vagy atektonikus (kompakciós) eredet nem dönthető el egyértelműen, a szakirodalomban gyakran eltérő a megítélésük (vö. HORVÁTH et al. 2006, 2009; BALÁZS et al. 2018). Az idesorolt vetők jellemzően aljzati magaslatok felett jelennek meg többnyire jellegzetes „virágszerkezettel”, ám csapásirányban a medence felé haladva általában eltűnnek. A térképen e vetőket barna színnel jelenítettük meg. E vetők egy részénél a „vegyes” genetika is lehetséges, azaz tektonikus és kompakciós hatások is hozzájárulhattak jelen formájuk kialakulásához.

A sekély mélységbe hatoló vetők ábrázolása során a vonatkoztatási szint medencék esetében jellemzően kb. 0,5 s volt valamennyi vetőtípusra, míg a medenceperemek esetében 0,2–0,3 s, tekintetbe véve a rendelkezésre álló szeizmikus adatrendszer minőségi adottságait (hiányos vagy többnyire igen gyenge minőségű szeizmikus leképezés a felső 0–0,4 s TWT időtartományban).

Prepannóniai vetők

A neotektonikus fázishoz kapcsolódó vetők és redők ábrázolása mellett a térkép fontos szakmai újdonsága a jelen-

több *prepannóniai vetők* együttes és országos megjelenítése a felújulásuk során létrejövő új, sekély mélységbe hatoló neotektonikus vetőkkel. A jelentősebb prepannóniai vetők (függetlenül azok neotektonikus felújulásától) országos ábrázolását a rendelkezésre álló szeizmikus anyag, a Bouguer-anómália-térkép és a szakirodalmi adatok együttes felhasználása tette lehetővé. Így a vetők országos szintű, egységes szemlélettel készült ábrázolása mind a részletesség, mind az alkalmazott módszertan szempontjából felülmúlja a korábbi országos szintű földtani, szerkezeti és aljzattérképek prepannóniai vetőmintáit (FÜLÖP & DANK 1987, DANK & FÜLÖP 1990, HAAS et al. 2010, KÖVÉR et al. 2018), továbbá FODOR (2010) tanulmányát, valamint kisebb területek hasonló koncepciójú neotektonikai bemutatását (MATURA et al. 1998; CSONTOS et al. 2005; RUSZKICZAY-RÜDIGER et al. 2007, 2009; FODOR et al. 2008; PALOTAI 2013; PETRIK 2016).

A prepannóniai vetők a sekély mélységbe hatoló neotektonikus vetők szerkezeti fundamentumainak („gyökereinek”) tekinthetők (4. ábra: 5. sor). Képződésük többnyire a kora és középső miocén extenzióhoz kapcsolódik, de néhány esetben a riftesedésnél korábbi eredetet igazolható (pl. Balaton–Tóalmási- és a teljes Közép-magyarországi-zóna;

BALLA 1984, 1988; CSONTOS & NAGYMAROSY 1992). E „gyökérzónákat” a térképen halványszürke színnel jelenítettük meg. Ábrázolásuk – akárcsak a térkép háttérét képező Bouguer-anomália-térkép – fontos segítséget nyújt az egyes neotektonikus vetők és vetőrendszerek lokális és regionális szerkezeti kontextusának áttekintésében. Fontos kiemelni, hogy a „gyökérzónák” térképi megjelenítése nem köthető valamely konkrét rétegtani horizonthoz (pl. pannóniai összlet bázisa), mivel e „gyökerek” (azaz az egyedi, komplex geometriájú vetőfelületek egyetlen, közös felületbe simulása; 4. ábra: 5. sor) mélységi és sztratigráfiai helyzete még egy adott vető/vetőzónán belül is számos esetben változik csapás mentén.

A térképen az ismertetett valamennyi vetőtípus esetén két minősítő kategóriát (jól vagy gyengén ismert) alkalmaztunk a vetők ismertségi fokának figyelembevételével. E kategóriákat térképileg folytonos vagy szaggatott vonalakkal jelenítettük meg.

Redők

A pannóniai rétegsor legmagasabb helyzetű képződményeit érintő redők az alábbi főbb kategóriákba sorolhatók:

Kompressziós eredetű redők (4. ábra: 1. sor). E csoportba tartoznak a „klasszikus”, jellemzően nagy hullámhosszú (5–20 km), a maximális rövidülés irányára jellemzően merőleges tengelyű redők. Ez a típusú redőződés szerkezetileg korábbi normál vetők vak feltolódásként történő reaktivációjához kapcsolódik. Ilyen redők mindenekelőtt Nyugat- és Délnyugat-Magyarországon jellemzőek (Zala, Somogy; pl. budafai és lovászi antiklinálisok; HORVÁTH & RUMPLER 1984; CSONTOS et al. 2005; FODOR et al. 2005a, b).

Monoklinális redők (4. ábra: 4. sor). E redők a pannóniai rétegsorba nem, vagy csak annak alsó részébe felhatoló felrátolódások felett kialakuló, jellegzetesen aszimmetrikus redők. A mélybeli felrátolódás nem új, a neotektonikus fázis során létrejött szerkezet, hanem már létező, prepannóniai vető reaktivációjának következménye. Az ilyen típusú redők viszonylag ritkák, főként Nyugat- és Délnyugat-Magyarországon fordulnak elő (Zala, Somogy, Mecsek; I. FODOR et al. 2013a).

Vetőkapcsolt redők (4. ábra: 5. sor). E redők képződése a „klasszikus” neotektonikus vetőkhöz kapcsolódik (pl. RUSZKICZAY-RÜDIGER et al. 2007, 2009; VISNOVITZ et al. 2021), amelyek kialakulásukat és geometriájukat egyaránt meghatározzák. Többnyire kis hullámhossz (néhány száz métertől max. néhány kilométerig) jellemzi őket, tengelyük párhuzamos vagy kis szöget zár be (gyakran kulisszas geometriával) a létrehozó vetővel/vetőkkal. Az ilyen gyűrődések amplitúdója is lényegesen kisebb, mint a kompressziós eredetű vagy a differenciális függőleges kéregmozgásokhoz kapcsolódó redőké. A térképezett redők közt ez a leggyakoribb redőtípus, amely az országban lényegében mindenhol (így például a Zagyva-árok területén is; 10. ábra) előfordul.

Differenciális függőleges kéregmozgásokhoz kapcsolódó redők (4. ábra: 2. sor; 5. ábra). E redőtípus azonosítása az elvégzett térképezéshez kötődik. E redők hullámhossz és amplitúdó tekintetében is a kompressziós eredetű redőkkel vehetők össze, azonban azoktól eltérő genetikájúak, hiszen

létrejöttükben a függőleges kéregmozgások játszanak szerepet értelmezésünk szerint (lásd *Neotektonikus redők és a felszíni morfológia kapcsolata*). Ilyen típusú redőket a Dunántúl északnyugati részén (Kisalföld) azonosítottunk a szeizmikus anyagban.

A differenciális függőleges kéregmozgásokhoz kapcsolódó redők esetében a redőződés amplitúdója a rétegsorban felfelé haladva csak kismértékben vagy egyáltalán nem csökken. Ezzel szemben az első pillantásra igen hasonló geometriájú kompaktív redők (4. ábra: 3. sor) esetében a rétegsorban felfelé haladva a redőződés amplitúdója fokozatosan csökken, majd egy adott szint felett a redőződés megszűnik (5. ábra). Ebből következően a kisalföldi redők – megítélésünk szerint – nem tekinthetők kompaktív eredetű redőknek, hiszen a gyűrődés a szeizmikusan leképezett, magas rétegtani helyzetű pannóniai szinteket is egyértelműen érinti, sőt helyenként felszínt is érintő megnyilvánulása is valószínűsíthető (vö. *Neotektonikus redők és a felszíni morfológia kapcsolata*, 9. ábra). A kompaktív redőket, tekintettel a pannóniai rétegsor fiatal elemeit általában már nem érintő jellegére és atektonikus eredetükre, azonosítottuk, de a térképen nem ábrázoltuk.

A redőtengelyek térképi ábrázolása során a vonatkoztatási szintet valamennyi elkülönített redőkategória esetén az a pannóniai szeizmikus horizont jelentette, amelyben a redőződés még egyértelműen és laterálisan is jól követhetően azonosítható volt.

Főbb eredmények

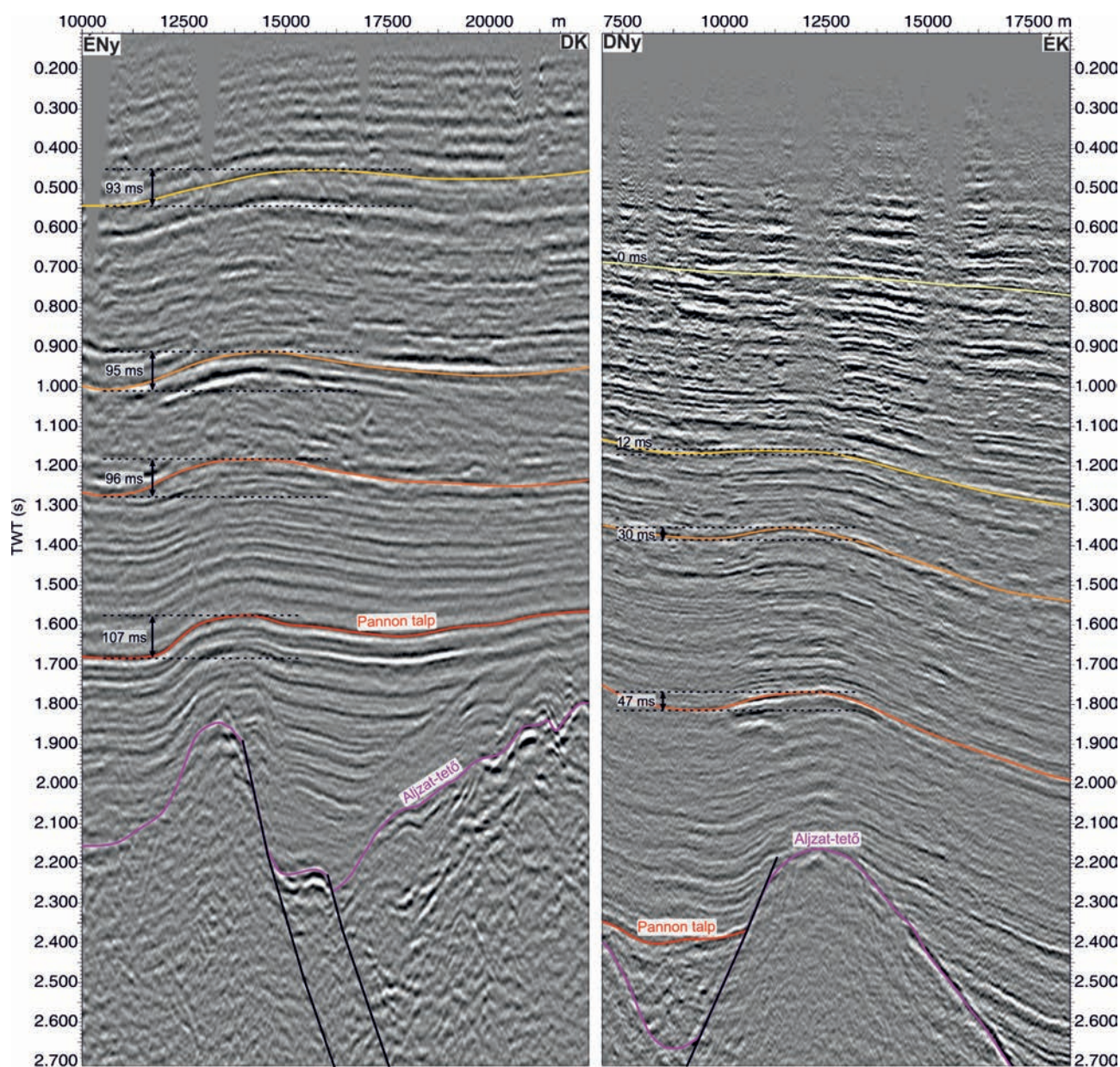
Neotektonikai szerkezeti kép

Az elvégzett térképezés legfontosabb eredménye a neotektonikus fázis során létrejött, sekély mélységbe hatoló szerkezeteknek (vetők, redők) a korábbiaknál lényegesen részletesebb és pontosabb ábrázolása (WÓRUM et al. 2020). Így a korábbi, alapvetően sematikus jellegű (lásd *Felhasznált adatok és alkalmazott módszerek*), országos neotektonikus vetőkép helyett olyan új tektonikai adatrendszer született meg az ország területére, amely a jövőben mind ipari felhasználási szempontból (pl. geotermia, szénhidrogénkutatás), mind tudományos kutatási szempontból (pl. modellezés) fontos előrelépést jelent. Az új és a korábbi eredmények térképi összevetését részleteiben KOROKNAI et al. (2020) munkája mutatja be.

Ugyancsak fontos előrelépés a jelentősebb prepannóniai mélyszerkezetek („gyökérzónák”) együttes és országos ábrázolása a neotektonikus vetőkkel. Az előbbieket megjelenítése (a neotektonikus felújulástól függetlenül) a lokális és regionális szerkezeti kontextus, illetve a neotektonikus reaktiváció térbeliségének jobb áttekintését segíti elő.

A neotektonikus vetők és a mélyszerkezet kapcsolata

Az új térképen ábrázolt fiatal, felszín közeli vetők döntő többsége tektonikus eredetű, azaz „klasszikus” neotektoni-



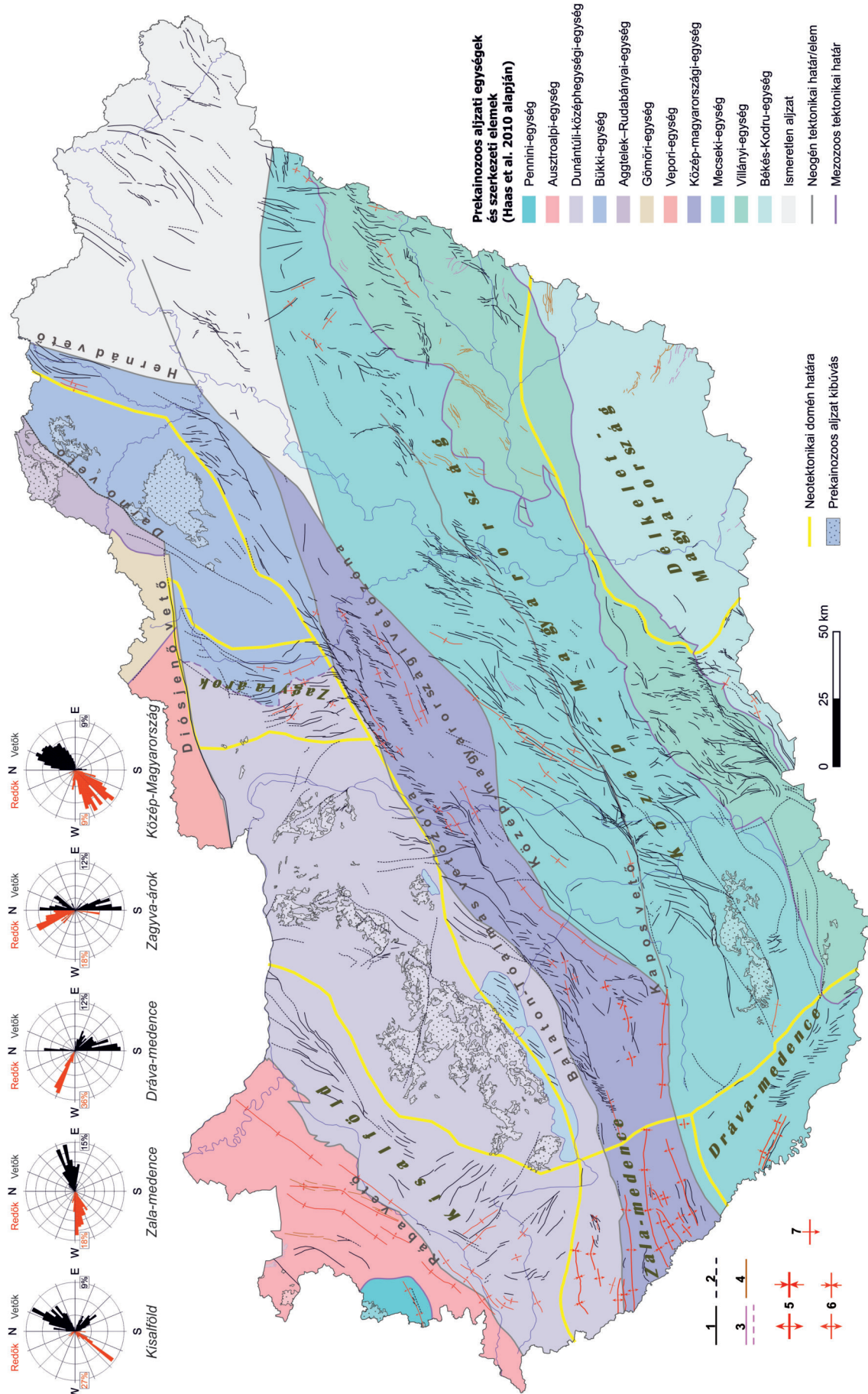
5. ábra. Differenciális függőleges kéregmozgáshoz kapcsolódó redő (DNY-Kisalföld, balra) és kompaksiós redő (Algyői-magaslat, DK-Nagyalföld, jobbra) összehasonlítása (azonos függőleges és horizontális skála). Jól megfigyelhető az eltérő jellegű (konstans vs. felfelé csökkenő), függőleges irányú redőamplitúdó mintázat. Narancssárga és sárga vonalak: pannóniai markerhorizontok (KOROKNAI et al. 2020 alapján)

Figure 5. Differential vertical motion-related fold from the SW Danube basin (left) compared to the drape-over anticline above the Algyő high (SE Great Hungarian Plain; right; identical horizontal and vertical scale). Note the strikingly different vertical pattern of fold amplitudes (constant vs. upward diminishing). Orange and yellow lines indicate arbitrary, Pannonian marker horizons (based on KOROKNAI et al. 2020)

kus vetőnek tekinthető (a térképen fekete színnel jelölve). Megítélésünk szerint a bizonytalan/vitatott eredetű vetők (a térképen barna színnel jelölve) uralkodóan szintén tektonikus eredetűek. E neotektonikus vetők egyedileg és összességükben is igen szoros korrelációt mutatnak a mélyszerkezetek, azaz az ábrázolt „gyökérvonal” irányítottságával, amit a más, releváns munkákkal való összevetés is egyértelműen igazol (pl. HAAS et al. 2010; 6. ábra). Mindezek alapján – összhangban a korábbi véleményekkel (pl. TARI 1994; FODOR et al. 2005a, b) – megállapítható, hogy a neotektonikus vetők egyértelműen korábbi szerkezetek felújulásához kapcsolódnak. Más szavakkal a neotektonikus vetőképet egyér-

telműen a korábbi tektonikai események során létrejött pre-pannóniai vetők határozzák meg. Ebből adódóan a neotektonikus vetőképben jelentkező, markáns irányítottságbeli különbségek egyúttal a mélybeli kontrolláló vetőrendszerek („gyökérvonal”) eltérő irányítottságát is jelzik (lásd pl. Zagyva-árok és környezete, Dráva-medence és környezete).

A mélyszerkezet és a neotektonikus vetők elválaszthatatlan kapcsolata mellett fontos rámutatni arra is, hogy a legmarkánsabb neotektonikus reaktivációt mutató zónák csak részben kapcsolódnak prekainozoos nagyszerkezeti határokhoz, amelyek első közelítésben reológiai szempontból fontos kéreggyengeségi zónáknak foghatók fel. Ilyen mar-



káns neotektonikus reaktivációt mutató, nagyszerkezeti szempontból is kiemelt jelentőségű vetőzóna a Balaton–Tóalmás-zóna. Ezzel szemben az országos viszonylatban kiemelkedő neotektonikus aktivitással jellemezhető Kelet-Kapos-vetőzóna (*sensu* HORVÁTH et al. 2019) vagy a Derecskei-vetőzóna nem kapcsolódik nagyszerkezeti határhoz, azok a Tiszai-főegység Mecseki- és Villányi-alegységén belül helyezkednek el (6. ábra). Ezek a megfigyelések arra engednek következtetni, hogy a neotektonikai fázis során reaktiválódott vetőzónák jelentős része nem a Tiszai-főegység ma ismert szerkezeti elrendeződését létrehozó késő mezozoos szerkezetalakulás során, hanem annál fiatalabb szerkezeti események (jelentős részben a kora és középső miocén riftesedés) során jött létre új vetőként.

Neotektonikai domének

Az új térkép alapján az országban a neotektonikai szerkezeti irányítottságban és/vagy deformációs stílusban egymástól markánsan különböző területek különíthetők el, amelyeket neotektonikai doméneknek nevezünk. Ezeket a 6. ábra mutatja be Magyarország nagyszerkezeti egységeire (HAAS et al. 2010 alapján) vetítve. Az ábra az elkülönített domének (Kisalföld, Zala-medence, Dráva-medence, Zagyva-árok, Közép-Magyarország és Délkelet-Magyarország domének) neotektonikus vető és redő iránystatisztikáit is feltünteti, ami még jobban kiemeli az egyes domének közti eltéréseket, továbbá jól szemlélteti a neotektonikus vetők és a mélyszerkezetek kapcsolatára megelőzően tett megállapításokat is. A 6. ábrán szereplő iránystatisztikák a szeizmikusan nem vagy csak gyengén lefedett, így viszonylag kisszámú adattal jellemezhető hegyvidéki területeket (Dunántúli-középhegység, Északi-középhegység) nem foglalják magukba.

Országos áttekintésben figyelemre méltó, hogy a kiemelkedően jó szeizmikus fedettséggel rendelkező délkelet-alföldi régió (Délkelet-Magyarország domén) neotektonikai aktivitás szempontjából lényegében inaktívnak tekinthető (a 6. ábra iránystatisztikái között e domén épp ezért nem is jelenik meg). Az igen alárendelt neotektonikai aktivitás tektonikai-geodinamikai háttere jelenleg még nem kellően értett. Lehetséges magyarázatul szolgálhat az igen

vastag (7 km-t is elérő) negyedidőszaki-neogén üledékes összetétel jelenléte, amelyen a neotektonikus reaktiváció a prepannoniai gyökérzóna menti, viszonylag korlátozott mértékű elmozdulás (<0,7–1,8 km; vö. HATEM et al. 2017) következtében nem képes áthatolni. Más mélymedence-területek (pl. a már említett Derecskei-árok) ezt a magyarázatot annyiban árnyalják, hogy ott a neotektonikus reaktiváció szempontjából kedvező irányítottságú (lásd *A neotektonikus vetőkép kinematikai értelmezése*, és 10. ábra), a prepannoniai gyökérzóna mentén mindenképp jelentősebb elmozdulásnak kellett történnie, hisz a fiatal pannóniai üledékekben markáns virágszerkezetek jelentkeznek.

Az igen vastag negyedidőszaki-neogén üledékes összetétel mellett a Délkelet-Magyarország domén „inaktivitásához” ugyancsak hozzájárulhatott a neotektonikus reaktiváció szempontjából kedvezőtlen ÉNy–DK-i szerkezeti irányítottság, amely lényegében merőleges a meghatározott maximális horizontális főfeszültség irányára, valamint a feltételezhetően kisebb alakváltozási ráta is (PORKOLÁB et al. 2023a; KOROKNAI et al. 2023b).

A továbbiakban néhány reprezentatív példa bemutatásával a neotektonikai domének jelentősebb eredményeit tekintjük át röviden. Az egyes domének szerkezeti jellemzőinek részletes bemutatása és elemzése KOROKNAI et al. (2020) munkájában található.

A neotektonikus

Közép-magyarországi szerkezeti öv

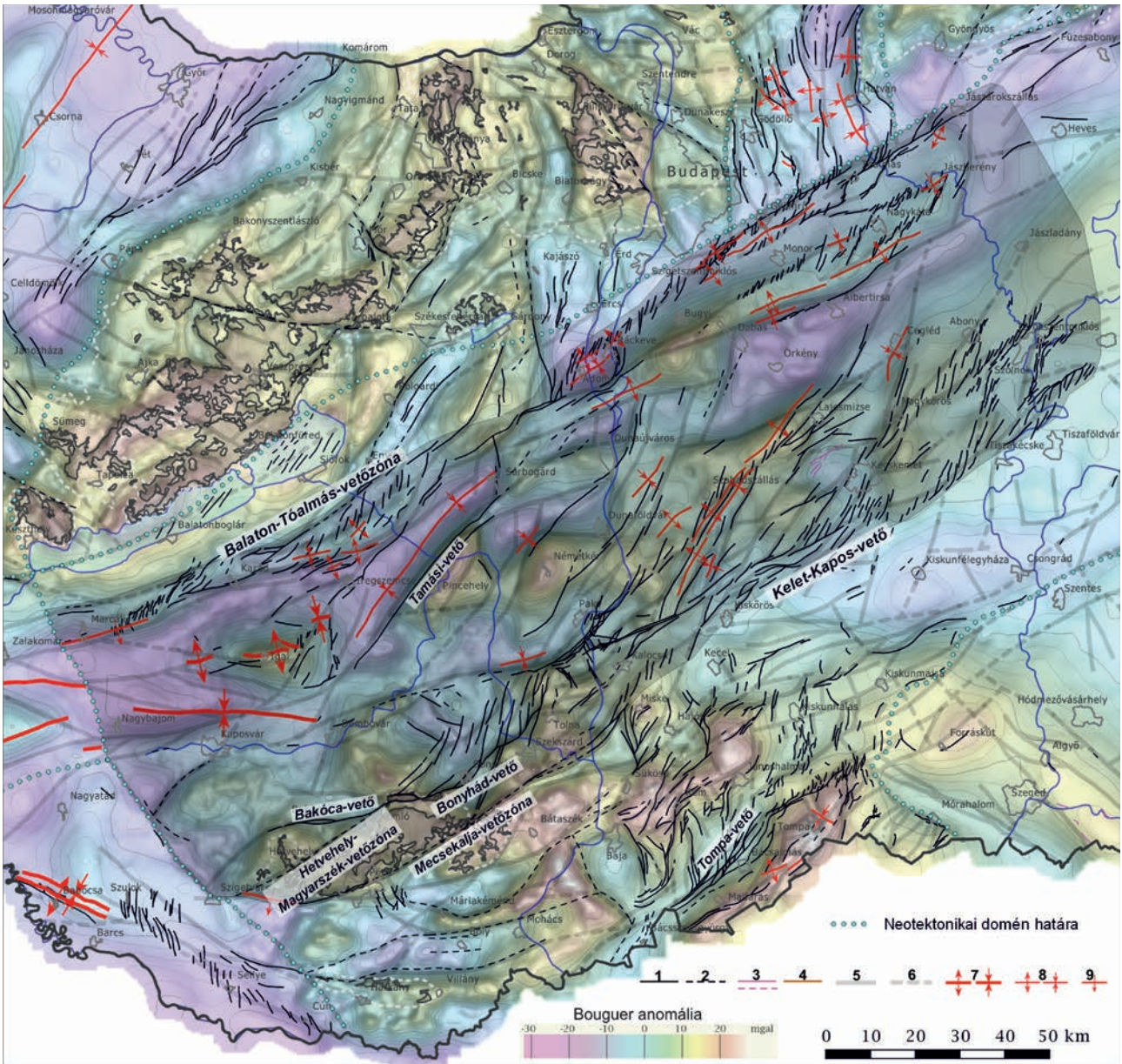
A legnagyobb területi kiterjedésű Közép-Magyarország domén (6. ábra) északi részén egy regionálisan is kiemelkedő jelentőségű, markáns neotektonikus szerkezeti reaktivációt mutató zóna (továbbiakban: neotektonikus Közép-magyarországi szerkezeti öv) helyezkedik el. Ez a neotektonikus szerkezeti öv prekainozoos aljzatban déli irányban jócskán túlterjed az intenzív késő paleogén – kora miocén nyírást (eltolódást) szenvedett (BALLA 1984, 1988; CSONTOS et al. 1992; CSONTOS & NAGYMAROSY 1998; FODOR et al. 1998), ún. „Közép-dunántúli-egységen” (HAAS et al. 2010; vö. 6. és 7. ábrák), és magába foglalja a Tiszai-főegység északi részét is (Közép-magyarországi mobil öv *sensu* JUHÁSZ et al. 2013). Ebben az ÉNy–DK-i irányban mintegy 60–80 km szélességű és (K)ÉK–(Ny)DNy-i csapás mentén mintegy 250 km hosszúságban követhető tektonikus övben a szeizmikus anyagban markánsan jelentkező neotektonikus oldalmozdulások történtek a KÉK–NyDNy-i csapású Kelet-Kapos és a Balaton–Tóalmás-vetőzóna között (az utóbbi legújabb eredményeiért lásd VISNOVITZ et al. 2021). Az öv korábbi részletes neotektonikai elemzése az Alföld területéről (POGÁCSÁS et al. 1989, DETZKY 1997, DETZKY et al. 2002, JUHÁSZ et al. 2013), továbbá az öv északi részéről (RUSZKICZAY-RÜDIGER et al. 2007, 2009; PALOTAI & CSONTOS 2010) származnak. Térképezési eredményeink és a közelmúltban Paks-II tágabb környezetében elvégzett komplex geológiai-geofizikai kutatás eredményei (HORVÁTH et al. 2019) alapján a zóna Ny–DNy-i irányú kiterjesztése indokolt lényegében a Mecsek hegység nyugati pereméig és északon kb. Marcali vonaláig (7. ábra).

← 6. ábra. A neotektonikai domének (határaik: sárga vonal) áttekintése (KOROKNAI et al. 2020 alapján), háttér: Magyarország nagyszerkezeti egységei (HAAS et al. 2010 alapján). A rózsadiagramok az egyes domének neotektonikus szerkezeteinek jellemző irányeloszlását mutatják

Fiatal (<6–8 Mév) tektonikus és atektonikus vetők [1–4]: 1 - neotektonikus vető, 2 - valószínűsített neotektonikus vető, 3 - csuszamlásos vagy kompaktációs eredetű vető (bizonyított/feltételezett), 4 - bizonytalan/vitatott eredetű vető. Neotektonikus redők: [5–7]: 5 - kompressziós antiklinális/szinklinális, 6 - differenciális függőleges kéregmozgásokhoz kapcsolódó vagy vetőkapcsolt antiklinális/szinklinális, 7 - monoklinális redő (vak vetőhöz kapcsolt)

← **Figure 6.** Overview of the defined neotectonic domains (yellow lines indicate domain boundaries; based on KOROKNAI et al. 2020) with the major tectonic units of the pre-Cenozoic basement (after HAAS et al. 2010). Rose charts show the orientation distributions of various neotectonic structures within the domains

Young (<6–8 Ma) tectonic and atectonic faults [1–4]: 1 - near-surface manifestation of the reactivation of pre-Pannonian fault, 2 - poorly constrained near-surface manifestation of the reactivation of pre-Pannonian fault, 3 - slump or compaction-related faults (proven/suspected), 4 - faults of uncertain/debated origin. Neotectonic folds [5–7]: 5 - compression-related anticline/syncline, 6 - uplift or fault-related anticline/syncline, 7 - blind faulting-related monoclinial fold



7. ábra. A neotektonikus Közép-magyarországi szerkezeti öv (szürke árnyékolású poligon) helyzete a főbb vetőkkel/vetőzónákkal (KOROKNAI et al. 2020 alapján). Fiatal (<6–8 Mév) tektonikus és atektonikus vetők [1–4]: 1 - neotektonikus vető, 2 - valószínűsített neotektonikus vető, 3 - csuszamlásos vagy kompaktációs eredetű vető (bizonyított/feltételezett), 4 - bizonytalan/vitatott eredetű vető. Jelentősebb prepannóniai „gyökérzónák” [5–6]: 5 - prepannóniai vető, 6 - valószínűsített prepannóniai vető. Neotektonikus redők: [7–9]: 7 - kompressziós antiklinális/szinklinális, 8 - differenciális függőleges kéregmozgásokhoz kapcsolódó vagy vetőkapcsolt antiklinális/szinklinális, 9 - monoklinális redő (vak vetőhöz kapcsolt). Bouguer-anomália-háttér: Kiss (2006) adatai alapján; szintvonalköz: 2 mgal

Figure 7. The position of the neotectonic Mid-Hungarian belt (shaded gray polygon) indicating main faults/fault zones (based on KOROKNAI et al. 2020). Young (<6–8 Ma) tectonic and atectonic faults [1–4]: 1 - near-surface manifestation of the reactivation of pre-Pannonian fault, 2 - poorly constrained near-surface manifestation of the reactivation of pre-Pannonian fault, 3 - slump or compaction-related faults (proven/suspected), 4 - faults of uncertain/debated origin. Important pre-Pannonian „roots” [5–6]: 5 - Pre-pannonian fault, 6 - poorly constrained pre-Pannonian fault. Neotectonic folds [7–9]: 7 - compression-related anticline/syncline, 8 - uplift or fault-related anticline/syncline, 9 - blind faulting-related monoclinical fold. Bouguer-anomaly background using the data of Kiss (2006); contour lines by 2 mgal

Ennek értelmében szintén ehhez az övhöz tartozik Paks-tól délnyugatra az ún. Bonyhád-vetőzóna, amely a Mecsek Északi Pikkelyzónájába csatlakozik. Ugyancsak a neotektonikus szerkezeti öv részét képezi értelmezésünk szerint a Mecsekben a Bakóca- és a Hetvehely–Magyarszék-vetők, valamint az öv déli peremét képező Mecsek-alja-zóna. A felsorolt vetőzónák neotektonikus aktivitását nagyszámú megfigyelés igazolja (TARI 1992, CSONTOS et al. 2002, WÓRUM & HÁMORI 2004, KONRÁD & SEBE 2010, KOVÁCS et al. 2018,

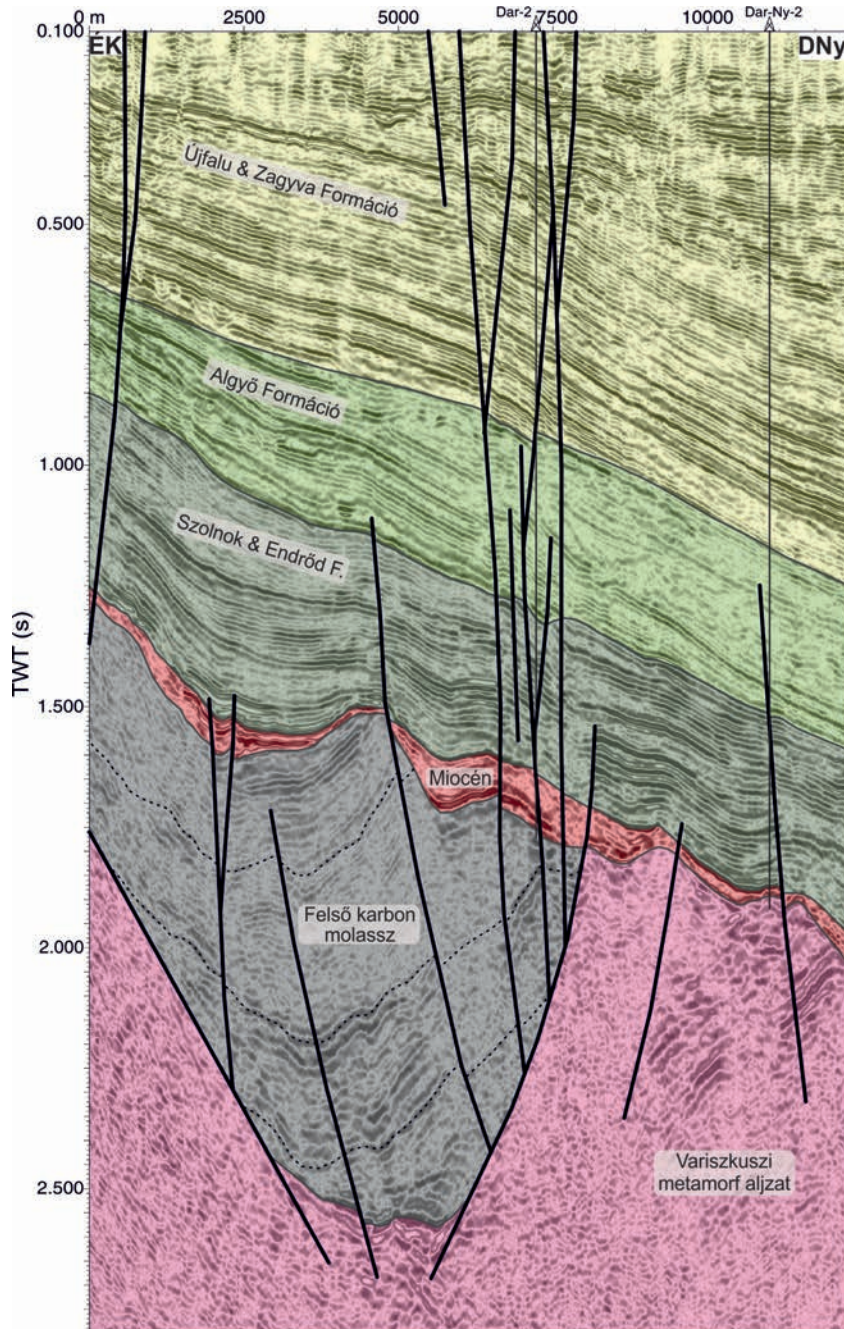
HORVÁTH et al. 2019), a Kapos-vető nyugati szegmense viszont csak gyenge neotektonikus aktivitást mutat (HORVÁTH et al. 2019). Északon a szerkezeti öv részét képezi a Tamási-vető, továbbá a Balaton–Tóalmás-vetőzóna délnyugati folytatása (VÁRKONYI et al. 2013, VISNOVITZ et al. 2015) Marcali városáig. Marcalitól nyugatra a Balaton-zóna mentén csak alárendelten jelentkezik sekély mélységbe hatoló neotektonikus vetőaktivitás, e területen a neotektonikus deformációt főként gyűrődések uralkodnak. A tektonikus övtől délre húzódó

a Tompa-vetőzóna és környezete csapásmenti folytatásában (K)ÉK, illetve (Ny)DNy irányban nem jelentkezik intenzív neotektonikus reaktiváció, ezért e területet nem tekintjük a neotektonikus Közép-magyarországi szerkezeti öv részének.

A miocén extenziónál idősebb szerkezetek neotektonikus reaktivációja

A neotektonikus fázis során reaktiválódott prepannoniai vetők jelentős részben a Pannon-medencét létrehozó kora/középső miocén extenzióhoz/transzzenzióhoz (korábbi no-

menklatúra szerint ún. szinrift fázis – ROYDEN et al. 1983) kötődnek. Ugyanakkor a neotektonikus felújulás helyenként a miocén riftesedést megelőző szerkezeteket is érintett. Ilyen terület például a Közép-magyarországi szerkezeti öv, ahol a miocén extenziónál idősebb, késő paleogén – kora miocén szerkezetek reaktiválódtak (pl. BALLA 1984, 1988; CSONTOS et al. 2005; CSONTOS & NAGYMAROSY 1998; PALOTAI & CSONTOS 2010; PALOTAI 2013). A térképezés során a Dráva-medence (domén) területén szintén egy idősebb, ÉNy–DK-i csapású szerkezet neotektonikus reaktivációját azonosítottuk (8. ábra; vö. HAAS et al. 2010; WÖRUM et al. 2020).



8. ábra. A Dráva-medencéből ismert késő karbon molassz árok peremvetőinek neotektonikus szerkezeti reaktivációja (KOROKNAI et al. 2020 alapján)

Figure 8. Neotectonic reactivation of the marginal faults of a Late Carboniferous molasse graben in the Dráva basin (based on KOROKNAI et al. 2020)

Itt a felújulás értelmezésünk szerint egy késő variszkuszi (késő karbon) árokszerkezethez, mégpedig annak peremvetőjéhez kötődik (8. ábra). A fúrási adatok alapján a felső karbon képződmények előfordulási területén és azok közvetlen környezetében nem jelentkeznek számottevő kivastagodás a középső miocén képződményekben (KÖRÖSSY 1989), így a középső miocén extenzióhoz kapcsolódó, jelentős (szinrift) vetőkkel itt nem lehet számolni. Ugyanakkor a neotektonikus kiújulás ÉNy–DK-i csapás mentén több 10 km hosszúságban követhető a karbon képződmények peremmentén, ami a miocénnél idősebb, vetős szerkezet jelenlétére utal a vizsgált területen. Közvetve ugyancsak a miocénnél idősebb vetős szerkezetet támasztja alá a karbon képződmények igen jelentős, a vonulat tengelyében az 1 km-t is jócskán meghaladó vastagsága (8. ábra).

A Dráva doménben térképileg is markáns elemként jelentkező, az árok peremeihez kapcsolódó, ÉNy–DK-i csapású neotektonikus vetőzóna (Szulok és Cún közt) kulisszás belső szerkezete jobbos nyírást jelez (WÓRUM et al. 2020; 7. ábra). A műszeresen regisztrált szeizmicitás e zóna jelenkori szeizmoaktív jellegére utal (CZECZE et al. 2023, GYŐRI et al. 2023, KOROKNAI et al. 2023b). A példa további szerkezeti érdekessége, hogy jól megfigyelhető az árokkitöltést alkotó felső karbon képződmények gyűrt belső szerkezete is. Ennek a gyűrődéses szerkezetalakulási fázisnak nincs nyoma a fiatal pannóniai üledékekben, tehát a késő karbon árokszerkezetet korábbi inverziós esemény(ek?) is érintette, amely a késő variszkuszi és/vagy eoalpi (kréta) kompressziós szerkezetalakulással hozható összefüggésbe.

Neotektonikus redők és a felszíni morfológia kapcsolata

A Kisalföld területén figyelemre méltó kapcsolat mutatható ki a szeizmikus szelvényeken meghatározott, (É)ÉK–(D)DNy-i csapású redők és a felszíni morfológiai elemek közt. A Rába negyedidőszaki üledékeiben enyhe (pár méteres nagyságrendű) morfológiai mélyedések és relatív magaslatok mutathatók ki a felszín simított burkológörbéjében DTM-analízis segítségével (KOVÁCS et al. 2014). Ezek tengelyei feltűnő térbeli egyezést mutatnak az ezen a területen szeizmikus szelvényeken meghatározott antiklinálisok és szinklinálisok tengelyeivel a fiatal pannóniai üledékekben (9. ábra).

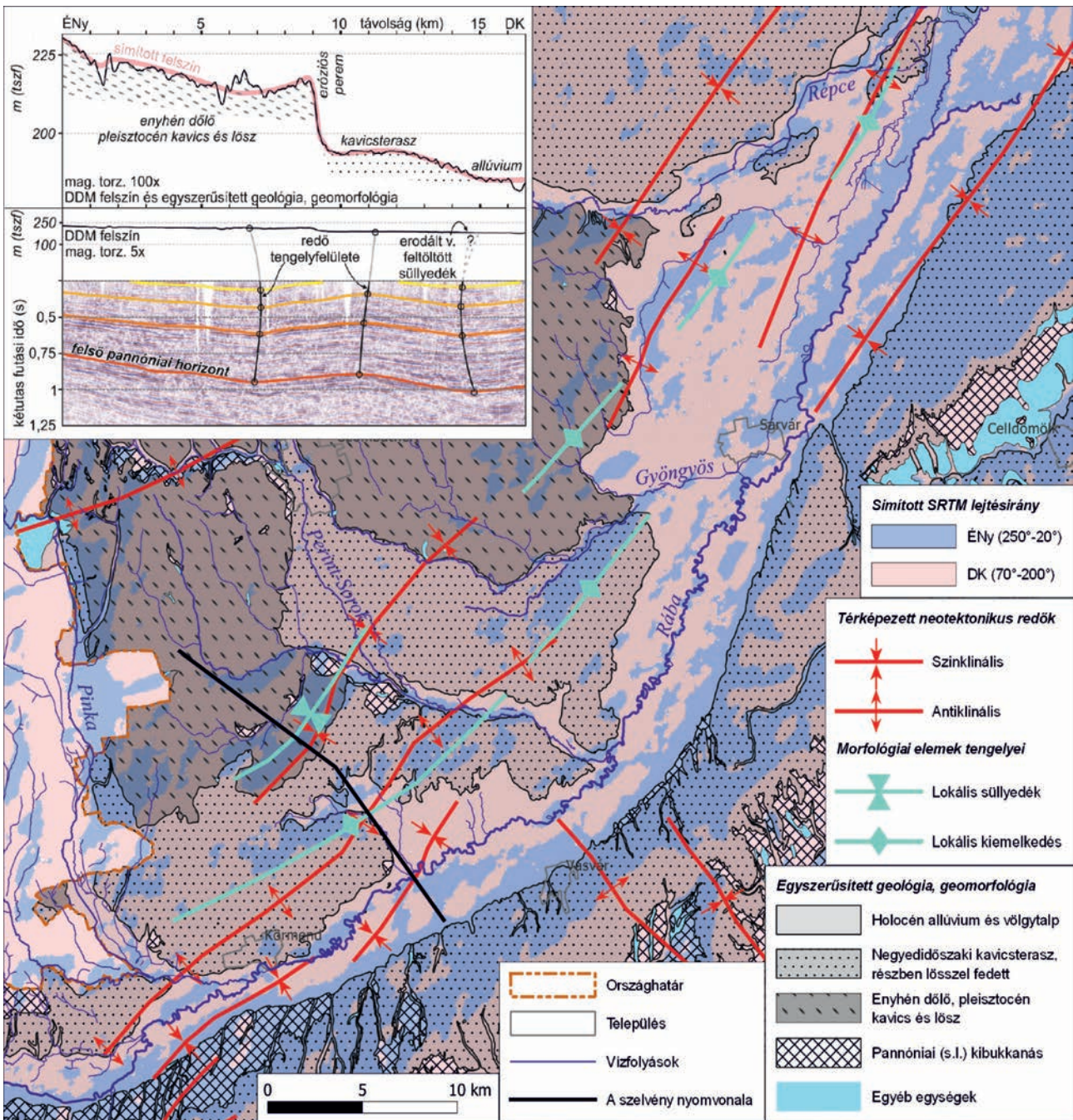
Az integrált szeizmikus és geomorfológiai értelmezés alapján a szeizmikus szelvényeken megfigyelt redőződés tektonikus eredetű, hiszen a szerkezeti hatás a rétegsorban felfelé haladva nem tűnik el, sőt az adatok szerint még a felszíni morfológiában is tetten érhető, mégha a felszíni amplitúdó igen kicsiny is. Ugyanakkor ez a redőződés bár tektonikus eredetű (a redőződés amplitúdója felfelé haladva nem tűnik el), de nem sorolható sem a kompressziós, sem a vetőkapcsolt redők kategóriájába. Figyelembe véve a tágabb környezetben dokumentált függőleges kéregmozgásokat (TARI 1994; HORVÁTH 1995; SACCHI et al. 1999; pl. a Dunántúli-középhegység kiemelkedése), e redőket differenciális függőleges kéregmozgásokhoz kapcsolódó redőkként értel-

meztük (lásd még *Ábrázolt térképi elemek – Redők*). A megfigyelt függőleges kéregmozgások, amelyek különböző hullámhosszú gyűrődések kialakulását eredményezték a kéregben, feltételezhetően a neotektonikus fázis során végbe ment, litoszférikus léptékű deformációkhoz kapcsolódhatnak (HORVÁTH & CLOETINGH 1996, CLOETINGH et al. 1999, DOMBRÁDI et al. 2010, RUSZKICZAY-RÜDIGER et al. 2020, PORKOLÁB et al. 2023b).

A neotektonikus vetőkép kinematikai értelmezése

Az elvégzett térképezés az egyes vetőzónák neotektonikus kinematikáját tekintve meglehetősen konzisztens képet mutat az egész ország területén (10. ábra). Ahogy az egyedi vetőzónák kulisszás (en echelon) belső szerkezete, illetve a vetőzónák általános térképi elrendeződése és geometriája is jelzi, a (K)ÉK–(Ny)DNy-i csapású vetőzónák (Balaton–Tóalmás-, Balatonfő-, Kelet-Kapos-, Bácsszentgyörgy–Tompai-, és Derecske-vetőzóna) balos, míg a (Ny)ÉNy–(K)DK-i csapású vetőzónák (pl. Szulok-Sellye–Cún vetőzóna és a Kisalföld délkeleti részének vetőzónái) jobbos oldaleltolódásként működtek. A kb. É–D-i irányú szerkezetek jellemzően normál vetős kinematikát tükröznek (pl. Zagyva-árok, ahol egyébként vetőkapcsolt redők is előfordulnak), illetve helyenként kb. ÉK–DNy-i irányú, kisebb *pull-apart* jellegű szerkezetek (pl. Bonyhádi-medence, Adonyi-medence) is megjelennek, amelyek balos eltolódáshoz kapcsolódó mintázatot (eltolódások és normálvetők kombinációját) jeleznek. Nyugat- és Délnyugat-Magyarországon jellemzően K–Ny-i tengelyű, kompressziós eredetű redők és hasonló irányítottágú fel/rátolódások jelentkeznek. Mindezen megfigyelések összességükben jól beleilleszthetők egy kb. É–D-i maximális horizontális főfeszültséggel (σ_1) jellemezhető, alapvetően eltolódásos jellegű paleo-feszültségmezőbe (10. ábra), ami egyúttal a legkisebb főfeszültség (σ_3) ugyancsak vízszintes helyzetét jelzi (vö. PORKOLÁB et al. 2023a, KOROKNAI et al. 2023b). A nyugat- és délnyugat-magyarországi feltolódásos és redős szerkezetek átmenetet jeleznek az eltolódásos rezsimből a transzpressziós/kompressziós rezsím felé. A maximális főfeszültség iránya kelet felé haladva egyre inkább ÉÉK-i irányúvá válik.

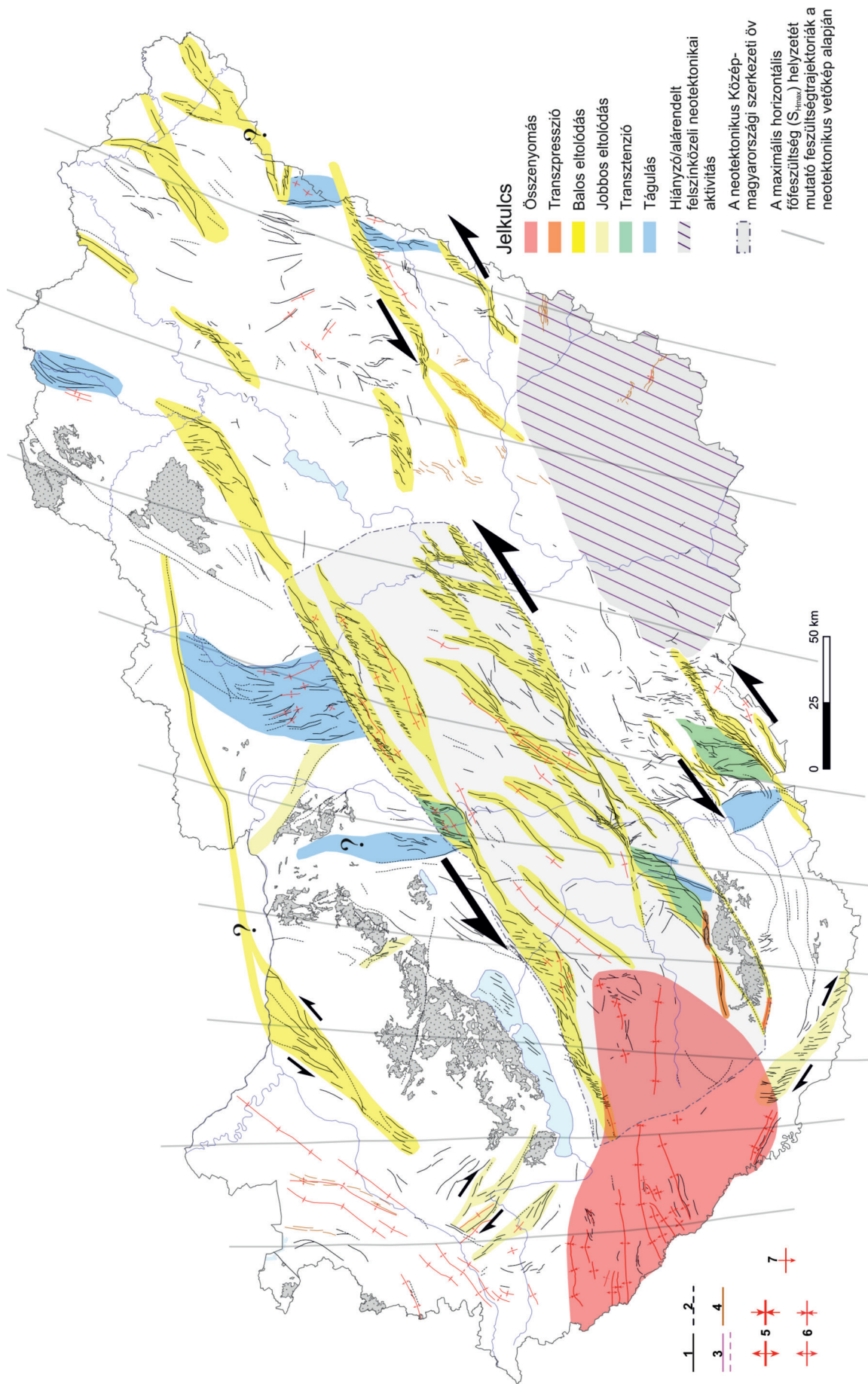
Ez a feszültségmező irányítottágát tekintve összességében nem tér el jelentősen a meghatározott jelenkori feszültségmezőtől (PORKOLÁB et al. 2023a, BÉKÉSI et al. 2023b, KOROKNAI et al. 2023b). A legnagyobb eltérés a Ny–Dunántúlon (a Kisalföld déli részén) jelentkezik, ahol a recens feszültségmező közel K–Ny-i irányú maximális horizontális főfeszültséggel (σ_1) jellemezhető. Ennek hátterében BADA et al. (2001) modellezési eredményei szerint lemezen belüli, lokális hatás áll: a Keleti-Alpok kiemelt topográfiai helyzetű tömege gravitációs eredetű nyomófeszültséget gyakorol a szomszédos kisalföldi területre, aminek eredményeként a regionálisan jellemző ÉÉK–DDNy-i maximális horizontális főfeszültség lokálisan K–Ny-i irányt vesz fel. Ugyancsak számottevő az eltérés az északkeleti országhatár közelében, ahol a recens maximális horizontális főfeszültség – a regionális trendet követve (PORKOLÁB et al. 2023a, KOROKNAI et



9. ábra. A Kisalföldön térképezett, a neotektonikus fázishoz kapcsolódó redők és a felszíni morfológiai elemek (relatív kiemelkedések és süllyedékek) korrelációja (KOROKNAI et al. 2020 alapján). A szeizmikus és topográfiai szelvényeken (bal oldalt felül) láthatók a térképezett redők és a kapcsolódó felszíni morfológiai elemek
Figure 9. Correlation between neotectonic fold locations and surface morphological elements (relative highs and depressions) as revealed by independent analysis of digital elevation models (based on KOROKNAI et al. 2020). The seismic and topographic profiles (upper left) show the mapped folds and adjoining surface morphological elements

al. 2023b) – közel K–Ny-i irányúvá válik. Máshol az eltérés a recens maximális horizontális főfeszültség trendszerű ÉK-i irányú, kismértékű elhajlásában jelentkezik. A feszültségmező jellegét illetően a legfontosabb eltérés, hogy a vetőkép alapján vázolható mezőben lokálisan (főként transzferzonákban) transztenzió/tágulás is előfordul (KOROKNAI et al. 2020), míg a jelenkori feszültségmezőben (BÉKESI et al. 2023a,b, PORKOLÁB et al. 2023a) ilyen típusú deformáció nem jelenik meg. A neotektonikus vetőkép alapján felvázolt feszültségmező irányítottságának és jellegének kisebb-n-

gyobb eltéréseinek oka a recens feszültségmező helyzetétől/jellegétől jelen tudásunk alapján többnyire nem határozható meg egyértelműen. Ebben az eltérő módszertani háttér mellett (PORKOLÁB et al. 2023a) egyaránt szerepet játszhatnak a feszültség-tengelyek irányítottságának lokális változásai a földtörténeti közelmúlt során, és standard geológiai-geofizikai módszerekkel csak nagyon nehezen nyomozható, litoszférikus léptékű deformációs folyamatok (PORKOLÁB et al. 2023b), valamint a feszültségmezőnek a vetők környezetében fellépő, kisebb-nagyobb, természetes eredetű anomáliái.



10. ábra. A térképezett neotektonikus deformációk kinematikai értelmezése (KOROKNAI et al. 2020 alapján). A térképen ábrázolt szerkezeti elemek jelkulcsi magyarázatát lásd a 6. ábránál. Figure 10. Kinematic interpretation of the mapped neotectonic deformations. For the explanation of the mapped structures see Fig. 6.

Összefoglalás

A Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal 2018-2.2.1-NKP-2018-00007 pályázata keretében elkészült a neotektonikus fázishoz (<6-8 Mév) kapcsolódó tektonikus és atektonikus deformációk új, 1: 500 000 léptékű országos térképe (WÓRUM et al. 2020). Az új térkép alapját 70 db 3D szeizmikus adattömb és mintegy 2900 db 2D szeizmikus szelvény értelmezése, továbbá a neotektonikai szakirodalom releváns eredményeinek kritikai értékelése és integrációja képezi. Az alkalmazott módszertan széles tudományos konszenzuson alapuló térkép megalkotását tette lehetővé.

A neotektonikus szerkezeti térképezés a projekt végcélját képező, új, országos szeizmotektonikai modellhez alapvető fontosságú adatokat szolgáltatott. A felszínközeli hatoló neotektonikus és aktív vetők az új, országos szeizmotektonikai veszélyeztettségi térkép (KOVÁCS et al. 2023, KOROKNAI et al. 2023a) meghatározó jelentőségű elemei, elősegítve a veszélyeztettség minél adekvátabb minősítését. A prepannóniai vetők az új szeizmotektonikai térképnek (bemutató I. KOROKNAI et al. 2023b) is alapvető elemei, hiszen az aktív vetők kijelölése ezek felhasználásával valósult meg figyelembe véve a projektben rendelkezésre álló szeizmológiai (GYÓRI et al. 2023, CZECZE et al. 2023) és szerkezeti adatrendszereket.

Az elvégzett neotektonikai térképezés legfontosabb eredményei a következők:

- A fiatal, felszínközeli hatoló szerkezetek korábbiaknál részletesebb és pontosabb ábrázolása.

- A vetők és redők különböző típusainak elkülönítése, jellemzése és ábrázolása.

- A jelentősebb prepannóniai vetős mélyszerkezetek („gyökérszónák”) pontos kijelölése és országos szintű ábrázolása a térképezett neotektonikus deformációk kontextusában a rendelkezésre álló szeizmikus adatrendszer és irodalmi adatok integrált felhasználásával. E térképi tartalom a korábbi országos és helyi jellegű vetőminták jelentős kiegészítésének, pontosításának és egységes módszertannal való leképezésének az eredménye.

– A mély és felszínközeli neotektonikus szerkezetek kapcsolata alapján megállapítható, hogy a neotektonikus szerkezetek kialakulása egyértelműen a megelőző (jellemzően az oligo-miocén extrúzióhoz vagy a miocén riftesedéshez kapcsolódó) szerkezetek reaktivációjához köthető, összhangban a korábbi releváns neotektonikus tanulmányok megállapításaival.

- Neotektonikai szerkezeti domének a korábbiaknál lényegesen pontosabb és országos szintű elkülönítése/jellemzése a deformációs mintázat alapján.

- A késő pannóniai/pliocén kinematika és feszültségmező interpretációja a vetőmintázat alapján.

Az elvégzett térképezés bővebb metodikai háttérét és további eredményeit (pl. a korábbi országos neotektonikai térképekkel való összevetést) KOROKNAI et al. (2020) munkája mutatja be részleteiben.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők ezúton is köszönetüket fejezik ki a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatalnak a 2018-1.2.1-NKP-2018-00007 jelű pályázat támogatásáért, amely az itt bemutatott eredmények létrejöttében meghatározó szerepű volt. Dolgozatunkat néhai Prof. dr. HORVÁTH Ferenc kollégánk emlékének ajánljuk, aki számára a Pannon-medence neotektonikai viszonyainak és fejlődésének megismerése mindig is kiemelten fontos kutatási témát jelentett. Köszönettel tartozunk dr. CSONTOS Lászlónak és dr. PALOTAI Mártonnak, továbbá dr. FODOR László szakszerkesztőnek az alapos lektori véleményekért és a konstruktív, minden szakmai részletre kiterjedő kritikai megjegyzésekért, amelyek számottevően járultak hozzá a kézirat minőségének javításához. Dr. SZTANÓ Orsolya főszerkesztő asszonynak ezúton is köszönjük a kézirat javítását elősegítő technikai megjegyzéseit.

Irodalom – References

- BADA, G., HORVÁTH, F., FEJES, I. & GERNER, P. 1999: Review of the present-day geodynamics of the Pannonian basin: progress and problems. – *Journal of Geodynamics* **27**, 501–527. [https://doi.org/10.1016/S0264-3707\(98\)00013-1](https://doi.org/10.1016/S0264-3707(98)00013-1)
- BADA, G., HORVÁTH, F., CLOETINGH, S., COBLENTZ, D. & TÓTH, T. 2001: Role of topography induced gravitational stresses in basin inversion: The case study of the Pannonian basin. – *Tectonics* **20**, 343–363. <https://doi.org/10.1029/2001TC900001>
- BADA, G., FODOR, L., WINDHOFFER, G., RUSZKICZAY-RÜDIGER, Zs., SACCHI, M., DUNAI, T., TÓTH, L., CLOETINGH, S. & HORVÁTH, F. 2003a: Lithosphere dynamics and present-day deformation pattern in the Pannonian basin. – *Geophysical Research. Abstract* **5**, 05772 (Nice, France).
- BADA, G., MÓNUS P., SZAFIÁN P., SZEIDOVITZ Gy., TÓTH L., WINDHOFFER G. & ZSÍROS T. 2003b: A létesítmény és környezete geofizikai, szeizmológiai és szeizmotektonikai jellemzői (Geophysical, seismological and seismotectonic characteristics of the facility and its surroundings). – In: SCHWEITZER F., TINER T. & BÉRCZI K. (szerk.): *A püspökszilágyi RHFT környezet- és sugárbiztonsága*. – MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest, 57–90.
- BADA, G., HORVÁTH, F., TÓTH, L., FODOR, L., TIMÁR, G. & CLOETINGH, S. 2006: Societal aspects of ongoing deformation in the Pannonian region. – In: PINTÉR, N., GRENERCZY, Gy., WEBER, J., MEDAK, D. & STEIN, S. (Eds): *The Adria microplate: GPS Geodesy, Tectonics, and Hazards*. – NATO ARW Series, Kluwer Academic Publishers, 385–402. https://doi.org/10.1007/1-4020-4235-3_26

- BADA, G., GRENERCZY, Gy., TÓTH, L., HORVÁTH, F., STEIN, S., CLOETINGH, S., WINDHOFFER, G., FODOR, L., PINTER, N. & FEJES, I. 2007a: Motion of Adria and ongoing inversion of the Pannonian Basin: Seismicity, GPS velocities, and stress transfer. – *Special Papers Geological Society of America* **425**, 243–262. [https://doi.org/10.1130/2007.2425\(16\)](https://doi.org/10.1130/2007.2425(16))
- BADA, G., HORVÁTH, F., DÖVÉNYI, P., SZAFIÁN, P., WINDHOFFER, G. & CLOETINGH, S. 2007b: Present-day stress field and tectonic inversion in the Pannonian basin. – *Global and Planetary Change* **58**, 165–180. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.01.007>
- BADA G., SZAFIÁN P., VINCZE O., TÓTH T., FODOR L., VOLKHARD S. & HORVÁTH F. 2010: Neotektonikai viszonyok a Balaton keleti medencéjében és tágabb környezetében nagy felbontású szeizmikus mérések alapján (The neotectonic habitat of the eastern part of Lake Balaton and its broader environs: inferences from high resolution seismic profiling). – *Földtani Közlemények* **140**, 367–390.
- BALLA, Z. 1984: The Carpathian loop and the Pannonian basin: a kinematic analysis. – *Geophysical Transactions* **30**, 313–353.
- BALLA, Z. 1988: On the origin of the structural pattern of Hungary. – *Acta Geologica Hungarica* **31**, 53–63.
- BALLA Z. & DUDKO A. 1996: Törések pannóniai képződményekben. – *Földtani Közlemények* **126**, 209–262.
- BALÁZS, A., MATENCO, L., MAGYAR, I., HORVÁTH, F. & CLOETINGH, S. 2016: The link between tectonics and sedimentation in back-arc basins: New genetic constraints from the analysis of the Pannonian Basin. – *Tectonics* **35**, 1526–1559. <https://doi.org/10.1002/2015TC004109>
- BALÁZS, A., MAGYAR, I., MATENCO, L., SZTANÓ, O., TÖKÉS, L. & HORVÁTH, F. 2018: Morphology of a large paleo-lake: Analysis of compaction in the Miocene-Quaternary Pannonian Basin. – *Global Planetary Change* **171**, 134–147. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.10.012>
- BÉKÉSI, E., PORKOLÁB, K. & WÉBER, Z. 2023a: Stress field of the Pannonian region. Institute of Earth Physics and Space Science, Sopron. – *Földtani Közlemények* **153/4**, p. 309. doi.org/10.23928/foldt.kozl.2023.153.4.mapB
- BÉKÉSI, E., PORKOLÁB, K., WESZTERGOM, V. & WÉBER, Z. 2023b: Updated stress dataset of the Circum-Pannonian region: Implications for regional tectonics and geo-energy applications. – *Tectonophysics* **856**, 229860. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2023.229860>
- BODOR B. 2011: *A Hernád-árok szerkezetföldtani vizsgálata (Structural investigation of the Hernád graben)*. – MSc tézis, Földtani Tanszék, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, 99 pp.
- BREZSNYÁNSZKY, K. & SÍKHEGYI, F. 1987: Neotectonic interpretation of Hungarian lineaments in the light of satellite imagery. – *Journal of Geodynamics* **8**, 123–203.
- BUDAI, T., CSÁSZÁR, G., CSILLAG, G., FODOR, L., GÁL, N., KERCSMÁR, Zs., KORDOS, L., PÁLFALVI, S. & SELMECZI, I. 2008: *Geology of the Vértes Hills. Explanatory book to the Geological Map of the Vértes Hills (1:50 000)*. – Geological Institute of Hungary, Budapest, 368 pp.
- CLOETINGH, S., BUROV, E. & POLIAKOV, A. 1999: Lithosphere folding: primary response to compression? (from Central Asia to Paris basin). – *Tectonics* **18**, 1064–1083. <https://doi.org/10.1029/1999TC900040>
- CZAKÓ, T. & ZELENKA, T. 1981: New data about the neotectonics of Mátra Mountains, Northern Hungary. – *Advances in Space Research* **1**, 289–298. [https://doi.org/10.1016/0273-1177\(81\)90406-3](https://doi.org/10.1016/0273-1177(81)90406-3)
- CZECZE B., GYÓRI E., TIMKÓ M., KISZELY M., SÜLE B. & WÉBER Z. 2023: A Kárpát–Pannon régió szeizmicitása: aktualizált és átdolgozott földrengés adatbázis. – *Földtani Közlemények* **153/4**, 279–296. <https://doi.org/10.23928/foldt.kozl.2023.153.4.279>
- CSERNY T. & CORRADA R. 1990: A Balaton aljzatának szedimentológiai térképe (Sedimentary maps of the basement of the Lake Balaton). – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1988*, 169–176.
- CSONTOS, L. 1995: Tertiary tectonic evolution of the Intra-Carpathian area: a review. – *Acta Vulcanologica* **7**, 1–13.
- CSONTOS, L. & NAGYMAROSY, A. 1998: The Mid-Hungarian line: a zone of repeated tectonic inversions. – *Tectonophysics* **297**, 51–71. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(98\)00163-2](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(98)00163-2)
- CSONTOS, L., NAGYMAROSY, A., HORVÁTH F. & KOVÁČ, M. 1992: Tertiary evolution of the Intra-Carpathian area: a model. – *Tectonophysics* **208**, 221–241.
- CSONTOS, L., BENKOVICS, L., 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* **357**, 81–102. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(02\)00363-3](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(02)00363-3)
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2005.05.049>
- DANK V. & FÜLÖP J. (szerk.) 1990: Magyarország szerkezetföldtani térképe, 1:500 000 (Structural-geological map of Hungary, 1:500 000). – MÁFI, Budapest.
- DETKY L. K. 1997: Feszültségtér-történet meghatározása szeizmikus szelvényeken azonosított többfázisú tektonizmus alapján, a Szolnoki flis öv nyugati peremén (Determination of stress-field history on the basis of multiphase tectonism identified in the seismic profiles, in the western part of the Szolnok flysch belt). – *Magyar Geofizika* **37**, 228–246.
- DETKY, L. K., HORVÁTH, F. & DETKY, G. 2002: Neotectonics and its relation to the Mid-Hungarian Mobile Belt. – In: CLOETINGH, S., HORVÁTH, F., BADA, G. & LANKREIJER, A. (Eds): Neotectonics and surface processes: the Pannonian basin and Alpine/Carpathian system. – *EGU St. Mueller Special Publications Series* **3**, 247–266.
- DOMBRÁDI, E., SOKOUTIS, D., BADA, G., CLOETINGH, S. & HORVÁTH, F. 2010: Modelling recent deformation of the Pannonian lithosphere: lithospheric folding and tectonic topography. *Tectonophysics* **484**, 103–118. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.09.014>
- DUDÁS Á. 2011: *Felső-miocén vetők és redők vizsgálata 2D szeizmikus vonalak alapján a Duna–Tisza köze északi és középső részén (Study of Late Miocene faults and folds in the northern and middle portion of the Danube–Tisza interfluvium based on 2D seismic profiles)*. – MSc tézis, Földtani Tanszék, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, 73 pp.
- DUDKO, A. 1997: Neogene tectonics of the Mezőföld. – *Annual Report of the Geological Institute of Hungary 1996/II*, 213–223.
- FODOR L. 2008: Szerkezetföldtan. In: BUDAI T., CSÁSZÁR G., CSILLAG G., FODOR L., GÁL N., KERCSMÁR Zs., KORDOS L., PÁLFALVI S. & SELMECZI I. 2008: *A Vértes hegység földtana*. – MÁFI, Budapest, 368 p.

- FODOR, L. 2010: *Mesozoic–Cenozoic stress fields and fault patterns in the northwestern part of the Pannonian Basin – methodology and structural analysis*. – Unpublished DSc thesis. Hungarian Academy of Sciences, Budapest, 129 pp.
- FODOR L., MAGYARI Á., FOGARASI A. & PALOTÁS K. 1994: Tercier szerkezetfejlődés és késő paleogén üledékképződés a Budai-hegységben. A Budai-vonal új értelmezése (Tertiary tectonics and late Palaeogene sedimentation in the Buda Hills, Hungary. A new interpretation of the Buda Line). – *Földtani Közlemény* **124**, 129–305.
- FODOR, L., JELEN, B., MÁRTON, E., SKABERNE, D., ČAR, J. & VRABEC, M. 1998: Miocene–Pliocene tectonic evolution of the Slovenian Periadriatic Fault: Implications for Alpine–Carpathian extrusion model. – *Tectonics* **17**, 690–709. <https://doi.org/10.1029/98TC01605>
- FODOR, L., CSONTOS, L., BADA, G., GYÓRFI, I. & BENKOVICS, L., 1999: Tertiary tectonic evolution of the Pannonian basin system and neighbouring orogens: A new synthesis of paleostress data. – In: DURAND, B., JOLIVET, L., HORVÁTH, F. & SÉRANNE, M. (Eds): *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen. Geological Society Special Publications, London* **156**, 295–334. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1999.156.01.15>
- FODOR, L., BADA, G., CSILLAG, G., HORVÁTH, E., RUSZKICZAY-RÜDIGER, Z., PALOTÁS, K., SÍKHEGYI, F., TIMÁR, G. & CLOETINGH, S. 2005a: An outline of neotectonic structures and morphotectonics of the western and central Pannonian Basin. – *Tectonophysics* **410**, 15–41. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2005.06.008>
- FODOR, L., BADA, G., CSILLAG, G., HORVÁTH, E., RUSZKICZAY-RÜDIGER, Zs. & SÍKHEGYI, F. 2005b: New data on neotectonic structures and morphotectonics of the western and central Pannonian Basin. – In: FODOR, L. & BREZSNYÁNSZKY, K. (Eds): *Application of GPS in Plate Tectonics in Research on Fossil Energy Resources and in Earthquake Hazard Assessment*. – Occasional Papers of the Geological Institute of Hungary **204**, 35–44.
- FODOR, L., RADÓCZ, Gy, SZTANÓ, O., KOROKNAI, B., CSONTOS, L. & HARANGI, Sz. 2005c: Post-Conference Excursion: Tectonics, sedimentation and magmatism along the Darnó Zone. – *Geolines* **19**, 142–162.
- FODOR L., CSILLAG G., LANTOS Z., BUDAI T., KERCSMÁR Zs. & SELMECZI I. 2008: *A Vértes hegység földtani térképe, 1:50 000*. – Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest.
- FODOR L., UHRIN A., PALOTÁS K., SELMECZI I., TÓTH-MAKK Á., RIZNAR I., TRAJANOVA, M., RIFELI H., BOGOMIR J., BUDAI T., KOROKNAI B., MOZETIČ, S., NÁDOR A. & LAPANJE, A. 2013a: A Mura–Zala-medence vízföldtani elemzését szolgáló földtani-szerkezet modell (Geological and structural model of the Mura–Zala Basin and its rims as a basis for hydrogeological analysis). – *Annual Report of the Geological Institute of Hungary 2011*, 47–91.
- FODOR, L., SZTANÓ, O. & KÖVÉR, Sz. 2013b: Mesozoic deformation of the northern Transdanubian Range (Gerecse and Vértes Hills). – *Acta Mineralogica-Petrographica, Field Guide Series* **31**, 1–52.
- FÜLÖP J. & DANK V. (szerk.) 1987: *Magyarország földtani térképe a kainozóikum elhagyásával, 1: 500 000* (Geological map of Hungary without Cenozoic, 1:500 000). – MÁFI, Budapest.
- GERNER, P., BADA, G., DÖVÉNYI, P., MÜLLER, B., ONCESCU, M.C., 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. & SÉRANNE, M. (Eds): *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen. Geological Society Special Publications London* **156**, 269–294. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1999.156.01.14>
- GYALOG L. & SÍKHEGYI F. 2005: *Magyarország földtani térképe (1:100 000)*. – Magyar Állami Földtani Intézet. <https://map.mbfisz.gov.hu/fdt100/>
- GYÓRI, E., CZECZE, B., TIMKÓ, M., BONDÁR, I., CZANIK, Cs., CZIFRA, T., FODOR, Cs., GRÁCZER, Z., GRIBOVSKZI, K., GYARMATI, A., KALMÁR, D., KISZELY, M., KOVÁCS, I. J., MÓNUS, P., SÜLE, B., SZANYI, Gy., TÓTH, L., VARGA, P., ZSÍROS, T. & WÉBER, Z. 2023: Seismicity map of the Circum-Pannonian region (456-2020). – *Institute of Earth Physics and Space Science, Sopron*. – *Földtani Közlemény* **153/4**, p. 297. doi.org/10.23928/foldt.kozl.2023.153.4.mapA
- HAAS J., BUDAI T., CSONTOS L., FODOR L. & KONRÁD Gy. (szerk.) 2010: *Magyarország prekainozoos földtani térképe 1:500 000* (Pre-Cenozoic geological map of Hungary, 1:500 000). – MÁFI, Budapest. <https://map.mbfisz.gov.hu/preterc500/>
- HALOUZKA, R., SCHÄFFER, G., KAISER, M., MOLNÁR, P., SCHAREK, P. & PRISTAS, J. 1998: *Neotectonic Map, 1:200000*. Danube Region Environmental Geology Programme, DANREG. – Geological Institute of Hungary, Budapest.
- HATEM, A. E., COOKE, M. L. & TOENBOEHN, K. 2017: Strain localization and evolving kinematic efficiency of initiating strike-slip faults within wet kaolin experiments. – *Journal of Structural Geology* **101**, 96–108. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2017.06.011>
- HETÉNYI R., HÁMOR G., FÖLDI M., NAGY I., NAGY E. & BILIK I. 1982: *A Keleti-Mecsek földtani térképe* (Geological Map of the Eastern Mecsek), 1:25 000. – MÁFI, Budapest.
- HÉJA, G., KÖVÉR, Sz., NÉMETH, A., CSILLAG, G. & FODOR, L. 2018: Evidences for pre-orogenic passive-margin extension in a Cretaceous fold-and-thrust belt on the basis of combined seismic and field data, (western Transdanubian Range, Hungary). – *International Journal of Earth Sciences* **107**, 2955–2973. <https://doi.org/10.1007/s00531-018-1637-3>.
- HORVÁTH, F. 1993: Towards a mechanical model for the formation of the Pannonian basin. – *Tectonophysics* **226**, 333–357. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(93\)90126-5](https://doi.org/10.1016/0040-1951(93)90126-5)
- HORVÁTH, F. 1995: Phases of compression during the evolution of the Pannonian Basin and its bearing on hydrocarbon exploration. – *Marine and Petroleum Geology* **12**, 837–844. [https://doi.org/10.1016/0264-8172\(95\)98851-u](https://doi.org/10.1016/0264-8172(95)98851-u)
- HORVÁTH, F. & CLOETINGH, S. 1996: Stress-induced late-stage subsidence anomalies in the Pannonian basin. – *Tectonophysics* **266**, 287–300. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(96\)00194-1](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(96)00194-1)
- HORVÁTH, F. & RUMPLER, J. 1984: The Pannonian basement: extension and subsidence of an alpine orogene. – *Acta Geologica Hungarica* **27**, 229–235.
- HORVÁTH, F., BADA, G., WINDHOFFER, G., CSONTOS, L., DOMBRÁDI, E., DÖVÉNYI, P., FODOR, L., GRENERCZY, Gy., SÍKHEGYI, F., SZAFIÁN, P., SZÉKELY, B., TIMÁR, G., TÓTH, L. & TÓTH, T. 2006: Atlas of the present-day geodynamics of the Pannonian basin: Euroconform

- maps with explanatory text (A Pannon-medence jelenkori geodinamikájának atlasza: Eurokonform térképsorozat és magyarázó). – *Magyar Geofizika* **47**, 133–137. http://geophysics.elte.hu/atlas/geodin_atlas.htm
- HORVÁTH, F., DOMBRÁDI, E. & TÓTH, L. 2009: Natural conditions, Geophysiscs. – In: KOCSIS, K. & SCHWEITZER, F. (Eds): *Hungary in Maps*. – Geographical Research Institute. Hungarian Academy of Sciences, Budapest, 29–33.
- HORVÁTH, F., MUSITZ, B., BALÁZS, A., VÉGH, A., UHRIN, A., NÁDOR, A., KOROKNAI, B., PAP, N., TÓTH, T. & WÓRUM, G. 2015: Evolution of the Pannonian basin and its geothermal resources. – *Geothermics* **53**, 328–352. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2014.07.009>
- HORVÁTH F., KOROKNAI B., TÓTH T., WÓRUM G., KONRÁD Gy., KÁDI Z., KUDÓ I., HÁMORI Z., FILIPSZKI P., NÉMETH V., SZÁNTÓ É., BÍRÓ A., KOROKNAI Zs., FÖLDVÁRI K. & KOVÁCS G. 2019: A Kapos-vonal középső szakaszának szerkezeti-mélyföldtani viszonyai és neotektonikai jellegei a legújabb geofizikai vizsgálatok tükrében (Structural geological and neotectonic features of the middle portion of the Kapos line based on the results of latest geophysical research). – *Földtani Közlöny* **149**, 327–350. <https://doi.org/10.23928/foldt.kozl.2019.149.4.327>
- JUHÁSZ Gy., POGÁCSÁS Gy. & MAGYAR I. 2007: Óriáskanyon-rendszer szeli át a pannóniai üledékeket? [A giant canyon system incised into the Late-Neogene (Pannonian s.l.) sediments?]. – *Földtani Közlöny* **137**, 307–326.
- JUHÁSZ, Gy., POGÁCSÁS, Gy., MAGYAR, I. & HATÁLYÁK, P. 2013: The Alpar canyon system in the Pannonian Basin, Hungary – its morphology, infill and development. – *Global Planetary Change* **103**, 174–192. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.10.003>
- KISS J. 2006: Magyarország gravitációs Bouguer-anomália térképe, M=1:500 000 (Gravity Bouguer anomaly map of Hungary, 1:500 000). – *Geophysical Transactions* **45**, 99–104. https://map.mbfisz.gov.hu/gravitacios_anomalia/
- KISS J. & GULYÁS Á. 2006: Magyarország mágneses ΔZ -anomália térképe, M=1:500 000 (Magnetic ΔZ anomaly map of Hungary, 1:500 000). – Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, Budapest. https://map.mbfisz.gov.hu/magneses_anomalia/
- KISS, A., GELLÉRT, B. & FODOR, L. 2001: Structural history of the Porva Basin in the Northern Bakony Mts. (Western Hungary): Implications for the Mesozoic and Tertiary tectonic evolution of the Transdanubian Range and Pannonian Basin. – *Geologica Carpathica* **52**, 183–190.
- KISZELY M. 2008: Földrengések a Vértes környezetében. In: BUDAI T., CSÁSZÁR G., CSILLAG G., FODOR L., GÁL N., KERCSMÁR Zs., KORDOS L., PÁLFALVI S. & SELMECZI I. 2008: *A Vértes hegység földtana*. – MÁFI, Budapest, 368 pp.
- KONRÁD Gy. & SEBE K. 2010: Fiatal tektonikai jelenségek új észlelései a Nyugati-Mecsekben és környezetében (New details of young tectonic phenomena in the Western Mecsek Mts and their surroundings). – *Földtani Közlöny* **140**, 135–162.
- KOROKNAI, B., WÓRUM, G., TÓTH, T., KOROKNAI, Zs., FEKETE-NÉMETH, V. & KOVÁCS, G. 2020: Geological deformations in the Pannonian Basin during the neotectonic phase: New insights from the latest regional mapping in Hungary. – *Earth-Science Reviews* **211**, 103411. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103411>
- KOROKNAI, B., BÉKÉSI, E., BONDÁR, I., CZECZE, B., GYÓRI, E., KOVÁCS, G., PORKOLÁB, K., TÓTH, T., WESZTERGOM, V., WÉBER, Z. & WÓRUM, G. 2023a: Seismotectonic map of Hungary. Geomega Ltd., Budapest. – *Földtani Közlöny* **153/4**, p. 353. doi.org/10.23928/foldt.kozl.2023.153.4.mapD
- KOROKNAI B., KOVÁCS G., WÓRUM G., BÉKÉSI E., GYÓRI E., CZECZE B., WÉBER Z., PORKOLÁB K., BOZSÓ I., SZÁRNYA Cs., SZÜCS E., NÉMETH V., BALÁZS L., SZABÓ G. & TÓTH T. 2023b: Magyarország szeizmotektonikai viszonyai és veszélyeztetettsége. – *Földtani Közlöny* **153/4**, 335–352. <https://doi.org/10.23928/foldt.kozl.2023.153.4.335>
- KORPÁS L., FODOR L., MAGYARI Á., DÉNES G. & ORAVECZ J. 2002: A Gellért-hegy földtana, karszt- és szerkezetfejlődése (Geology, karst system and structural evolution of the Gellért Hill, Budapest, Hungary). – *Karszt és Barlang* **1998–1999/I–II**, 57–93.
- KOVÁČ, M., BIELIK, M., HÓK, J., KOVÁČ, P., KRONOME, B., LABÁK, P., MOZCO, P., PLAŠIENKA, D., ŠEFARA, J. & ŠUJAN, M. 2002: Seismic activity and neotectonic evolution of the Western Carpathians (Slovakia). – *EGU Stephan Mueller Special Publication Series* **3**, 167–184.
- KOVÁCS, Á., SEBE, K., MAGYAR, I., SZUROMINÉ KORECZ, A. & KOVÁCS, E., 2018: Upper Miocene sedimentation and tectonics in the Northern Imbricate Zone (Eastern Mecsek Mts, SW Hungary). – *Földtani Közlöny* **148**, 327–340. [10.23928/foldt.kozl.2018.148.4.327](https://doi.org/10.23928/foldt.kozl.2018.148.4.327)
- KOVÁCS, G., TELBISZ, T., SZÉKELY, B. & KOMA, Zs. 2014: Tectonic geomorphometric studies in the surroundings of Rechnitz tectonic window, Eastern Alps. – *Geologia Sudetica* **42**, 188–189.
- KOVÁCS, G., FODOR, L., KÖVÉR, S., MOLNÁR, G., RAÁB, D., TELBISZ, T. & TIMÁR, G. 2015: Verification of late Miocene to Quaternary structural control on landforms: A case study with comprehensive methodology from a low hilly area (Western Pannonian basin). – *Austrian Journal of Earth Sciences* **108**, 82–104. <https://doi.org/10.17738/AJES.2015.0015>
- KOVÁCS, G., KOROKNAI, B., GYÓRI, E., NÉMETH, V., BALÁZS, L., CZECZE, B., BONDÁR, I., WÓRUM, G., SZABÓ, G., KEGYES-BRASSAI, O. & TÓTH, T. 2023: Seismotectonic hazard map of Hungary. Geomega Ltd., Budapest. – *Földtani Közlöny* **153/4**, p. 355. doi.org/10.23928/foldt.kozl.2023.153.4.mapE
- KÖRÖSSY L. 1989: A Dráva-medencei kőolaj- és földgáz kutatás földtani eredményei. – *Általános Földtani Szemle* **24**, 3–121.
- KÖVÉR Sz., FODOR L. & HAAS J. 2018: A Kárpát–Pannon térség áttekintő szerkezetföldtani térképe. – In: KOCSIS K. (főszerk.): *Magyarország Nemzeti Atlasza. Természeti környezet*. Budapest, 16–35.
- LOISL, J., TARI, G., DRAGANITS, E., ZÁMOLYI, A. & GJERAZI, I. 2018: High-resolution seismic reflection data acquisition and interpretation, Lake Neusiedl, Austria, northwest Pannonian Basin. – *Interpretation* **6**, SB77–SB97. <https://doi.org/10.1190/int-2017-0086.1>
- LOPES CARDOZO, G., BADA, G., LANKREIJER, A. & NIEUWLAND, D. 2002: Analogue modelling of a prograding strike-slip fault: Case study of the Balatonfő fault, western Hungary. – In: CLOETINGH, S., HORVÁTH, F., BADA, G. & LANKREIJER, A. (Eds): Neotectonics and Surface Processes: The Pannonian Basin and Alpine/Carpathian System. *EGU St. Mueller Special Publication Series* **3**, 217–226.
- MAGYARI Á., MUSITZ B., CSONTOS L., VAN VLIET-LANOË, B. & UNGER Z. 2004: Késő-negyvedidőszaki szerkezetfejlődés vizsgálata Külső-Somogyban terepi mikro- és morfológiai módszerekkel. – *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 2002*, 111–128.
- MAGYARI, Á., MUSITZ, B., CSONTOS, L. & VAN VLIET-LANOË, B. 2005: Quaternary neotectonics of the Somogy Hills, Hungary (part I): Evidence from field observations. – *Tectonophysics* **410**, 43–62. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2005.05.044>

- MATURA, A., WESELY, G., KRÖLL, A., CSÁSZÁR, G. & VOZÁR, J. 1998: *Map of the Pre-Tertiary Basement (Including Paleogene in the Australpine-Carpathian Belt), 1:200 000. Danube Region Environmental Geology Programme, DANREG.* – Geological Institute of Hungary, Budapest.
- NÁDOR, A. & SZTANÓ, O. 2011: Lateral and vertical variability of channel belt stacking density as a function of subsidence and sediment supply: field evidence from the intramontane Körös Basin, Hungary. – *SEPM Special Publications* **97**, 375–392. <https://doi.org/10.2110/sepm.097.375>
- NÁDOR, A., THAMÓ-BOZSÓ, E., MAGYARI, Á. & BABINSZKI, E. 2007: Fluvial responses to tectonics and climate change during the late Weichselian in the eastern part of the Pannonian Basin (Hungary). – *Sedimentary Geology* **202**, 174–192. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2007.03.001>
- NEMČOK, M., POSPÍŠIL, L., LEXA, J. & DONELICK, R. A. 1998: Tertiary subduction and break-off model of the Carpathian–Pannonian region. – *Tectonophysics* **295**, 307–340. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(98\)00092-4](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(98)00092-4)
- NÉMEDI VARGA Z. 1977: A Kapos-vonal (The Kapos line). – *Földtani Közlemények* **107**, 313–328.
- OLÁH P., FODOR L., TÓTH T., DEÁK A., DRIJKONINGEN G. & HORVÁTH F. 2014: A Szentendrei sziget környéki vízi szeizmikus szelvényezések eredményei (Geological results of the seismic surveys around Szentendre Island, Danube River, North Hungary). – *Földtani Közlemények* **144**, 359–380.
- PALOTAI, M. 2013: *Oligocene–Miocene Tectonic Evolution of the Central Part of the Mid-Hungarian Shear Zone.* – Unpublished PhD thesis, Dept. General and Historical Geology. Eötvös University, Budapest, 147 pp.
- PALOTAI, M. & CSONTOS, L. 2010: Strike-slip reactivation of a Paleogene to Miocene fold and thrust belt along the central part of the Mid-Hungarian Shear Zone. – *Geologica Carpathica* **61**, 483–493. <https://doi.org/10.2478/v10096-010-0030-3>
- PALOTAI M., MINDSZENTY A., KOPECSKÓ K. & POROS Zs. 2012: Az Ínség-kő geológiája (The Ínség-kő: Danube bedrock geology at Gellért Hill, Budapest). – *Földtani Közlemények* **142**, 243–250.
- PETRIK, A. B. 2016: *Structural evolution of the southern Bükk foreland.* – Unpublished PhD thesis, Dept. of Physical and Applied Geology, Eötvös University, Budapest, 208 pp.
- PETRIK, A., FODOR, L., BEREZKI, L., KLEMBALA, Zs, LUKÁCS, R., BARANYI, V., BEKE, B. & HARANGI, Sz. 2018: Variation in style of magmatism and emplacement mechanism induced by changes in basin environments and stress fields (Pannonian Basin, Central Europe). – *Basin Research* **31**, 380–404. <https://doi.org/10.1111/bre.12326>.
- PETROVSZKI, J., SZÉKELY, B. & TIMÁR, G. 2012: A systematic overview of the coincidences of river sinuosity changes and tectonically active structures in the Pannonian Basin. – *Global and Planetary Change* **98–99**, 109–121. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.08.005>.
- POGÁCSÁS Gy., LAKATOS L., BARVITZ A., VAKARCS G. & FARKAS C. 1989: Pliocén–kvarter oldaleltolódások a Nagyalföldön (Pliocene–Quaternary strike-slip faults in the Great Hungarian Plain, Hungary). – *Általános Földtani Szemle* **24**, 149–169.
- PORKOLÁB K., BÉKÉSI E., BROERSE T., KENYERES A. & WÉBER Z. 2023a: Regionális feszültségmező és deformációs sebesség a Pannonmedence térségében. – *Földtani Közlemények* **153/4**, 299–308. <https://doi.org/10.23928/foldt.kozl.2023.153.4.299>
- PORKOLÁB, K., BROERSE, T., KENYERES, A., BÉKÉSI, E., TÓTH, S., MAGYAR, B. & WESZTERGOM, V. 2023b: Active tectonics of the Circum-Pannonian region in the light of updated GNSS network data. – *Acta Geodaetica et Geophysica*. <https://doi.org/10.1007/s40328-023-00409-8>
- ROYDEN, L. H. 1993: The tectonic expression of the slab pull at continental convergent boundaries. – *Tectonics* **12**, 303–325. <https://doi.org/10.1029/92TC02248>
- ROYDEN, L. H., HORVÁTH, F., NAGYMAROSY, A. & STEGENA, F. 1983: Evolution of the Pannonian Basin System: 2. Subsidence and thermal history. – *Tectonics* **2**, 91–137. <https://doi.org/10.1029/TC002i001p00091>
- RUSZKICZAY-RÜDIGER, Zs., FODOR, L. I. & HORVÁTH, E. 2007: Neotectonics and Quaternary landscape evolution of the Gödöllő Hills, Central Pannonian Basin, Hungary. – *Global Planetary Change* **58**, 181–196. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.02.010>
- RUSZKICZAY-RÜDIGER, Zs., FODOR, L., HORVÁTH, E. & TELBISZ, T. 2009: Discrimination of fluvial, eolian and neotectonic features in a low hilly landscape: A DEM-based morphotectonic analysis in the Central Pannonian Basin, Hungary. – *Geomorphology* **104**, 203–217. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.08.014>
- RUSZKICZAY-RÜDIGER, Zs., BALÁZS, A., CSILLAG, G., DRIJKONINGEN, G. & FODOR, L. 2020: Uplift of the Transdanubian Range, Pannonian Basin: how fast and why? – *Global Planetary Change* **103263**. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2020.103263>
- SACCHI, M., HORVÁTH, F. & MAGYARI, O. 1999: Role of unconformity-bounded units in the stratigraphy of the continental record: A case study from the late Miocene of the western Pannonian Basin, Hungary. – In: DURAND, B., JOLIVET, L., HORVÁTH, F. & SÉRANNE, M. (Eds): *The Mediterranean Basins: Extension within the Alpine Orogen. Geological Society Special Publications*, London **156**, 357–390. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1999.156.01.17>
- SÍKHEGYI, F. 2002: Active structural evolution of the western and central part of the Pannonian basin: A geomorphologic 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 Special Publication Series* **3**, 203–216.
- SÍKHEGYI, F. 2008: *Neotectonics of the Somogy- and Zala Hills – morphostructural study.* – Unpublished PhD thesis. University of West Hungary, Sopron, 150 pp.
- SOÓS B. 2017: *A Zagyva-árok extenziójának szerkezete és mértéke (Structure and quantification of extension in the Zagyva graben).* – MSc tézis, Földtani Tanszék. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, 123 pp.
- SPERNER, B., RATSCHBACHER, L. & NEMČOK, M. 2002: Interplay between subduction rollback and lateral extrusion, tectonics of the Western Carpathians. – *Tectonics* **21**, 1051. <http://dx.doi.org/10.1029/2001TC901028>
- SZÉKELY, B., ZÁMOLYI, A., DRAGANITS, E. & BRIESE, C. 2009: Geomorphic expression of neotectonic activity in a low relief area in an Airborne Laser Scanning DTM: a case study of the Little Hungarian Plain (Pannonian Basin). – *Tectonophysics* **474**, 353–366. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2008.11.024>

- SZTANÓ, O., MAGYAR, I., SZÓNOKY, M., LANTOS, M., MÜLLER, P., LENKEY, L., KATONA, L. & CSILLAG, G. 2013a: Tihany Formation in the surroundings of Lake Balaton: Type locality, depositional setting and stratigraphy. – *Földtani Közlemény* **143**, 73–98.
- SZTANÓ, O., SZAFIÁN, P., MAGYAR, I., HORÁNYI, A., BADA, G., HUGHES, D. W., HOYER, D. L. & WALLIS, R. J. 2013b: Aggradation and progradation controlled clinothems and Deepwater sand delivery model in the Neogene Lake Pannon, Makó Trough, Pannonian Basin, SE Hungary. – *Global Planetary Change* **103**, 149–167. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.05.026>
- SZTANÓ, O., KOVÁČ, M., MAGYAR, I., ŠUJAN, M., FODOR, L., UHRIN, A., RYBÁR, S., CSILLAG, G. & TÖKÉS, L. 2016: Late Miocene sedimentary record of the Danube/Kisalföld Basin: Interregional correlation of depositional systems, stratigraphy and structural evolution. – *Geologica Carpathica* **67**, 525–542. <https://doi.org/10.1515/geoca-2016-0033>.
- TARI, G. 1992: Late Neogene transpression in the Northern Thrust zone Mecsek Mts, Hungary. – *Annales of the Eötvös University Budapest, Section of Geology* **29**, 165–187.
- TARI, G. 1994: *Alpine tectonics of the Pannonian Basin*. – Unpublished PhD thesis. Rice University, Houston, Texas, 501 pp.
- TARI, G. & HORVÁTH, F. 2010: A Dunántúli-középhegység helyzete és coalpi fejlődéstörténete a Keleti-Alpok takarós rendszerében: egy másfél évtizedes tektonikai modell időszerűsége (Eo-Alpine evolution of the Transdanubian Range in the nappe system of the Eastern Alps: revival of a 15 years tectonic model). – *Földtani Közlemény* **140**, 483–510.
- TÓTH, T. 2003: *Folyóvízi szeizmikus mérések (Seismic survey on rivers)*. – PhD tézis, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Geofizikai Tanszék, Budapest, 141 pp.
- TÓTH, T. & HORVÁTH, F. 1997: Neotektonikus vizsgálatok nagy felbontású szeizmikus szelvényezéssel (Neotectonic investigations using high-resolution seismic profiling). – In: MAROSI, S. & MESKÓ, A. (szerk.): *A paksi atomerőmű földrendésbiztonsága*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 123–152.
- TÖRŐ, B., SZTANÓ, O. & FODOR, L. 2012: Inherited and syndepositional structural control on the evolution of Lake Pannon's slope, Northern Somogy, Hungary. – *Földtani Közlemény* **142**, 339–356.
- UHRIN, A., MAGYAR, I. & SZTANÓ, O. 2009: Effect of basement deformation on the Pannonian sedimentation of the Zala Basin, SW Hungary. – *Földtani Közlemény* **139**, 273–282.
- VÁRKONYI, A. 2012: *Late Cenozoic deformation and sedimentation based on seismic and borehole data in North Somogy (south-western Hungary)*. – Unpublished MSc thesis, Depts. Regional Geology, Physical and Applied Geology & MTA–ELTE Geological, Geophysical and Space Science Research Group. Eötvös University, Budapest, 97 pp.
- VÁRKONYI, A., TÖRŐ, B., SZTANÓ, O. & FODOR, L. 2013: Late Cenozoic deformation and tectonically controlled sedimentation near the Balaton zone (central Pannonian basin, Hungary). – *Occasional Papers of the Geological and Geophysical Institute of Hungary*, 72–73.
- VISNOVITZ, F., HORVÁTH, F., FEKETE, N. & SPIESS, V. 2015: Strike-slip tectonics in the Pannonian Basin based on seismic surveys at Lake Balaton. – *International Journal of Earth Sciences* **104**, 2273–2285. <https://doi.org/10.1007/s00531-015-1179-x>
- VISNOVITZ, F., JAKAB, B., CZECZE, B., HÁMORI, Z., SZÉKELY, B., FODOR, L. & HORVÁTH, F. 2021: High resolution architecture of neotectonic fault zones and post-8-Ma deformations in western Hungary: Observations and neotectonic characteristics of the fault zone at the Eastern Lake Balaton. – *Global and Planetary Change* **203**, 103540. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2021.103540>
- WÉBER, Z., KOROKNAI, B. & SZÁRNYA, Cs. (szerk.) 2023: *Magyarország szeizmotektonikai veszélyzetettségi térképének megalkotása és elemzése. Zárótanulmány*. – Földfizikai és Űrtudományi Kutatóintézet – Geomega Kft., Sopron–Budapest, 174 pp.
- WINDHOFFER, G., BADA, G., NIEUWLAND, D., WÓRUM, G., HORVÁTH, F. & CLOETINGH, S. 2005: On the mechanics of basin formation in the Pannonian basin: inferences from analogue and numerical modelling. – *Tectonophysics* **410**, 389–415. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2004.10.019>
- WÓRUM, G. 1999: *A Mecsek–Villányi térség szerkezete és fejlődéstörténeti eseményei szeizmikus szelvények alapján (The structure and evolutionary events of the Mecsek–Villány region based on the analysis of seismic profiles)*. – MSc tézis, Geofizikai Tanszék, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, 117 pp.
- WÓRUM, G. & HÁMORI, Z., 2004: *A BAF kutatás szempontjából releváns a MOL Rt. által készített archív szeizmikus szelvények újrafeldolgozása (The reprocessing of the archive seismic profiles of MOL Plc. relevant for the research of the BAF)*. – Kutatási jelentés. Geomega Ltd., Budapest, 39 pp.
- WÓRUM, G., KOROKNAI, B., KOROKNAI, Zs., FEKETE-NÉMETH, V., KOVÁCS, G. & TÓTH, T. 2020: *Young geological deformations in Hungary (1:500 000)*. – Geomega Ltd., Budapest <https://doi.org/10.17632/dnjt9cmj87.1>
- ZÁMOLYI, A., SZÉKELY, B., DRAGANITS, E. & TIMÁR, G. 2010: Neotectonic control on river sinuosity at the western margin of the Little Hungarian Plain. – *Geomorphology* **122**, 231–243. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.06.028>

Kézirat beérkezett: 2023. 07. 14.