

# A FÖLDRENGÉSEK PREKURZORALAPÚ ELŐREJELZÉSE: VÁGYÁLOM VAGY VALÓS LEHETŐSÉG?

Szakács Sándor<sup>1</sup>, Kovács István János<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Geodinamikai Intézet, Román Akadémia, Bukarest, Románia

<sup>2</sup> HUN-REN Földfizikai és Űrtudományi Kutatóintézet, Sopron és MTA FI Lendület Pannon LitH<sub>2</sub>Oscope kutatócsoport

## Bevezető

Valahányszor erős, esetenként anyagi károkat vagy éppen emberáldozatokat is okozó földrengésről ad híreket a média, és a jelenséggel foglalkozó szakemberek a riporterek kereszttüzebe kerülnek, változatlanul feltevődik a földrengések előrejelzése lehetőségének a kérdése. 2023 első felében térségünkben – februárban a dél-Romániai Olténiában, májusban a Bánságban – is fordultak elő ilyen földmozgások amelyek, bár Románia területén okoztak rémületet a lakosság körében, valamint kisebb-nagyobb károkat az épületekben, Magyarországon is érezhetőek voltak. Ezek az események annál is inkább érzékenyen érintették úgy a lakosságot, mint a hatóságokat, mivel az emberek még rendkívül erősen a valamivel korábban bekövetkezett törökországi és szíriai földrengés-katasztrófának a média által részleteiben is bemutatott hatása alatt voltak – a mi térségünkben is. Nem érte tehát váratlanul a szakembereket a közösségi média képviselőinek az ostroma, a megriadt közvélemény drámai módon megnövekedett információigényét kielégítendő. Mások mellett ezen írás szerzői is nyilatkoztak a különböző (tv, rádió, írott) média képviselőinek a megkeresésére, és nem kerülhették el a



Szakács Sándor geológus, nyugalmazott egyetemi docens, a Román Akadémia bukaresti Geodinamikai Intézetének munkatársa. Fő szakterülete a vulkanológia és a vulkáni területek földtani viszonyainak a kutatása. Számos nemzetközi folyóiratban közölt dolgozatával hozzájárult a Kárpát-medence harmadkori vulkánosságának a jobb megértéséhez. Ugyanakkor a vulkanológia általánosabb, elvi kérdéseivel is foglalkozott. Újabbban a földrengések előrejelezhetőségének a problémaköre

foglalkoztatja. Angol és román nyelven közölt dolgozatait Alexandru Szakács, a magyar nyelven közölteket Szakács Sándor néven jegyzi.

Kovács István János a Földfizikai és Űrtudományi Kutatóintézet tudományos főmunkatársa, annak litoszférafizikai csoportjának, valamint az MTA FI Lendület Pannon LitH<sub>2</sub>Oscope kutatócsoportjának vezetője. Fő kutatási területe a lemeztektonika és ezen belül az illók szerepe az asztenoszféra-litoszféra rendszer dinamikájában. Kutatási eredményeit 2015-ben az Európai Ásványtani Unió kutatási kiválósági medállal ismerte el, és emellett 2011-ben elnyerte az Európai Geológiai Unió fiatal kutatói kiválósági díját a geokémiai, ásványtani, közettani és vulkanológiai területen. Ezen túlmenően elnyerte a rangos hazai Vendl Mária emlékérmét a Magyarhoni Földtani Társulattól, a Bolyai plakettet, a Pro Scientia aranyérmét, a Junior Prima díjat tudomány kategóriában és az MTA Szádeczky-Kardoss Elemér díját két alkalommal.

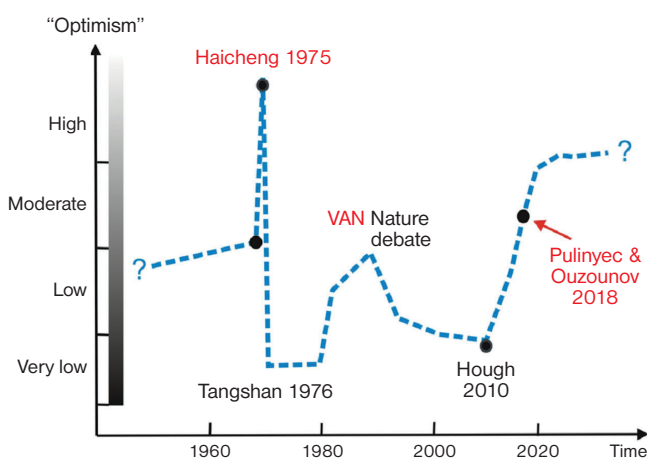
földrengés-előrejelzés problematikáját felvető kérdésekre sem a választ. A továbbiakban e válaszok lényegét osztjuk meg olvasóinkkal.

## Szkepticizmus és mérsékelt optimizmus a földrengés-előrejelzésben

A napjainkban is uralkodó, mindenekelőtt az *Amerikai Egyesült Államok Földtani Szolgálat* (USGS) álláspontján alapuló szakmai paradigma szerint a földrengések előrejelzése elvben lehetetlen – tekintettel a jelenség non-lineáris és kaotikus voltára – és mint ilyen, egy megoldhatatlan feladat. Ezért kár időt, energiát és pénzt költeni ilyen irányultságú kutatásokra, helyettük a földrengésbiztos építkezésre – ahogy azt a japánok teszik – és a kritikus infrastruktúrák megfelelő védelmére és biztosítására kell összpontosítani a figyelmet – és az erőforrásokat. Bár ez a radikális álláspont egyelőre nem cáfolható, árnyalni lehet és szükséges: 1) a földrengéseket *egyelőre* nem lehet biztonságosan előre jelezni prekursor jelek (azaz *előjelek*) alapján és – főleg 2) valóban nem lehet *minden* szeizmikus szerkezet, földrengésház esetében érvényes, *univerzális* prekursorokat kimutatni: olyanokat amelyek minden esetben bekövetkeznek, és amelyek kimutatásával az előrejelzés kérdése egyetemes megoldást nyerhet. Ezért tehát inkább úgy kellene árnyaltabban fogalmazni, hogy a földrengések determinisztikus prekursor jelek alapján történő előrejelzése jelenleg egy olyan, napjainkban megoldatlan tudományos feladat és kihívás, amely megoldásra vár. És hozzátesszük, a tárgykörben optimisták csoportjával egybehangozón: nem kellene elvileg lehetetlennek minősíteni – legalább azért nem, mert egy ilyen hozzáállás demobilizáló, a kutatásokat ellehetetlenítő magatartásmódot generál a kutatók körében. Ilyen értelemben talán érdemes felidézni, hogy a múlt század elején voltak olyan nagynevű és mérvadó tudósok akik azt bizonygatták, hogy a levegőnél nagyobb sűrűségű mesterséges eszközökkel elvben lehetetlen a repülés...

Szerencsére mindig is voltak és vannak „renitenskedő”, az adott tárgykörben uralkodó paradigmának be nem hódoló kutatók, tudósok, akik az „elvileg megoldhatatlan” kérdéseket tudományos kihívásnak tekintik és új, eredeti elméleti megközelítésben próbálnak utakat nyitni a probléma megoldása irányában, úgy ahogy azt száz évvel ezelőtt a levegőnél súlyosabb tárgyakkal való repülés lehetetlenségének az elvét elvetők is tették. Ez, amennyiben sikeresnek bizonyul, paradigmaváltáshoz vezethet.

A földrengések előrejelzése terén is hasonló helyzettel állunk szemben. A földrengéskutatók túlnyomó zöme – köztük a szeizmológia tudományát hivatásszerűen űző állami intézmények kutatóinak a többsége – az USGS által „hivatalosnak” minősített álláspontot képviselik úgy a mindennapi szakmai gyakorlatuk, mint esetenként, a médiában való megnyilatkozásaik során. Ezzel szemben a témakörben új paradigma után néző kutatók – általában intézményes támogatottság nélkül vagy csak alig támogatottan, sokszor „saját szakállukra” dolgozva – kísérleteznek a földrengés-előrejelzés kockázatos és biztos sikerrel sem kecsegtető talaján. Ennek az uralkodó paradigmával szembeálló hozzáállásnak immár sok évtizedes története van. Ezt foglaljuk röviden össze a következőkben egy, a kérdésben megrajzolható „optimizmusgörbe” utóbbi 50 év során bekövetkezett lefutását és drámai változásait követve. A mellékelt ábrán a hozzáállás-változásokat alapvetően befolyásoló mérföldkő jelentőségű fejlemények is fel vannak tüntetve (1. ábra).



1. ábra. A prekuzor-alapú földrengés-előrejelzéshez való viszonyulás alakulása az utóbbi kb. fél évszázad során

## „Optimizmusgörbe” – félévszázados visszatekintés

Az első, a kérdéskörben áttörést ígérő eseményt az 1975-ben bekövetkezett nagy, 7,3-as Richter skála szerinti magnitúdójú *Haicheng földrengés* jelentette, amelyet az akkori kínai kommunista hatóságok életek tízezreit megmentő sikeres előrejelzéseiként és a kínai tudománynak a világon első ízben elért hatalmas vívmányaként tekintettek és így is hirdették szerte a világon. Mi is történt valójában? A február 4-én bekövetkezett nagy erejű és pusztító földrengés bekövetkeztekor a térség lakosságát katonai karhatalom igénybevitelével már kitelepítették a hatóságok a hetekkel és napokkal előtte észlelt, egyre fokozódó és sűrűsödő olyan rendkívüli előjelek alapján, mint a földfelszíni deformációk (gyors kiemelkedések), erőteljes kútvízszint-ingadozások, az állatok rendellenes viselkedése (megfagyott kigyók és patkányok tetemei az utakon január végén, „rézsg” patkányok, nyugtalan lovak és tehének, repkedő ré-

cék, este el nem ülő baromfi, stb.), valamint a hivatalos szeizmológusok által kifejezett aggodalmak és tanácsok alapján. A tudósvilág pedig lelkesen tudomásul vette és nem győzte dicsérni, nagy dombra verni ezt az első „siker” földrengéselőrejelzést – és a kommunista Kína előzmények nélküli hatalmas tudományos megvalósítását. Ezáltal az „optimizmusgörbe” az egekbe emelkedett. Csak hogy a csúcson járó optimizmus rövid életűnek bizonyult, és már a következő évben a pokol mélységeinek a szintjére süllyedt, mély pesszimizmusra váltva. 1976. július 28-án ugyanis bekövetkezett egy 7,6-os magnitúdójú földrengés *Tangshan* térségében, óriási pusztítást és több mint 242 000 emberáldozatot követelve. Ezúttal nem jelentkeztek – a Haicheng esetében az előző évben annyira evidens – előjelek. Sajnos a szeizmológusok közössége ezek után nem vonta le azt a legkézenfekvőbb tanulságot az esetből, hogy két földrengés nem egyforma, két földrengéseket kiváltó földtani szerkezet sem egyforma, és ezért a földrengések esetleges előjelei sem egyformák.

Ezek után a prekuzor-alapú földrengés-előrejelzéssel kapcsolatos kutatások csak nagyon lassú tempóban kezdtek újra elindulni. A kutatások egy újabb hulláma mindezekelőtt egy háromtagú görög kutatócsoport nevéhez és az általuk kifejlesztett VAN (a kutatók neveinek a kezdőbetűiből képzett akronima) módszer alkalmazásához és annak szaklapokban közölt sikereihez fűződik. A kutatócsoport szerint a földkéregben terjedő elektromágneses hullámok megfelelő műszerekkel mérhető paramétereiben a földrengést megelőzően olyan változások mutathatók ki, amelyek prekuzoroknak tekinthetők. Egy egész sorozat közölt tudományos dolgozatban mutatták be optimizmusra okot adó eredményeiket és sikeresnek minősített előrejelzéseiket, amelyek felkeltették a szeizmológusok élénk érdeklődését világszerte [1] – olyannyira, hogy a *Nature* folyóirat vitasorozatát kezdeményezett a téma kapcsán az 1990-es évek folyamán a legismertebb szaktekintélyek bevonásával. A *Nature debate on earthquake prediction* cikksorozatnak a legszakavatottabb tudósok véleményén alapuló végkimenetele szerint „a földrengéseket nem lehet előrejelezni”, ahogy az a konklúziókat levonó egyik cikk [2] címében is szerepel. A VAN módszerrel előrejelzett földrengések bekövetkeztének az esélye pedig – statisztikai próbáknak alávetve – nem nagyobb annál, amit egy feldobott érme mutatna. Ezzel az „ítélettel” egyúttal az „optimizmusgörbe” is újra a mélybe süllyedt. Az „elvben lehetetlen” paradigmája végleges győzelmet látszott aratni az USGS egyik jeles és befolyásos szeizmológus szakembere, *Susan Hough* a témát összefoglaló könyvének a megjelenésével, amely egyúttal a földrengés-előrejelzés pesszimizmái bibliájának is tekintetű.

Ezután viszont újabb „renitens” kutatók léptek színre, akik nem nyugodtak bele a pesszimizista vonal végső győzelmébe. És új, paradigmaváltó potenciállal kecsegtető kutatásokba kezdtek. Mielőtt ezeket röviden ismertetnénk, érdemes rávilágítani arra, hogy vajon mi lehet a földrengés-előrejelzés megoldására irányuló korábbi erő-

feszítések sikertelenségének az oka az „elvben lehetetlen” pusztaság elfogadásán túl. Szerintünk ez legalább három okra vezethető vissza: 1) ambíciózus, az előrejelzés szent gráljának megtalálására irányuló egyéni vagy kiscsoportos, egymástól elszigetelten zajló kutatási erőfeszítések és ebből adódóan az interdiszciplináris csapatmunka hiánya, 2) egy átfogó, konceptuálisan megalapozott hosszú távú kutatási stratégia hiánya és 3) nagyszabású nemzetközi multidiszciplináris, megfelelően finanszírozott kutatási program hiánya.

## Paradigmaváltás?

Az utóbbi két évtizedben világszerte elért kutatási eredmények tükrében elmondható, hogy optimizmusra okot adó, paradigmaváltó potenciállal rendelkező megközelítések születtek a prekurzor alapú földrengés-előrejelzés kérdéskörében. Egyrészt ígéretes, új paradigmát előrevetítő elméleti munkák láttak napvilágot, amelyek megújuló alapokra helyezhetik a kutatást, másrészt az optimista hozzáállású kutatók új gyakorlati és technikai módszereket dolgoztak ki és kezdtek alkalmazni – felhasználva a műszaki tudományok és az informatika terén kifejlesztett naprakész technológiákat, az űrkutatást is beleértve. A legújabb kutatási hullám elméleti alapját a következő elvek alkotják: 1) a litoszféra-atmoszféra-ionoszféra összekapcsolt rendszerének az elve, 2) a szeizmikus szerkezetek egyediségének és ebből következően azok prekurzor-ujjlenyomata egyediségének az elve és 3) a földfelszín pontjai nem ekvivalens voltának elve a prekurzor jelek észlelése, monitorizálása és kimutatása szempontjából.

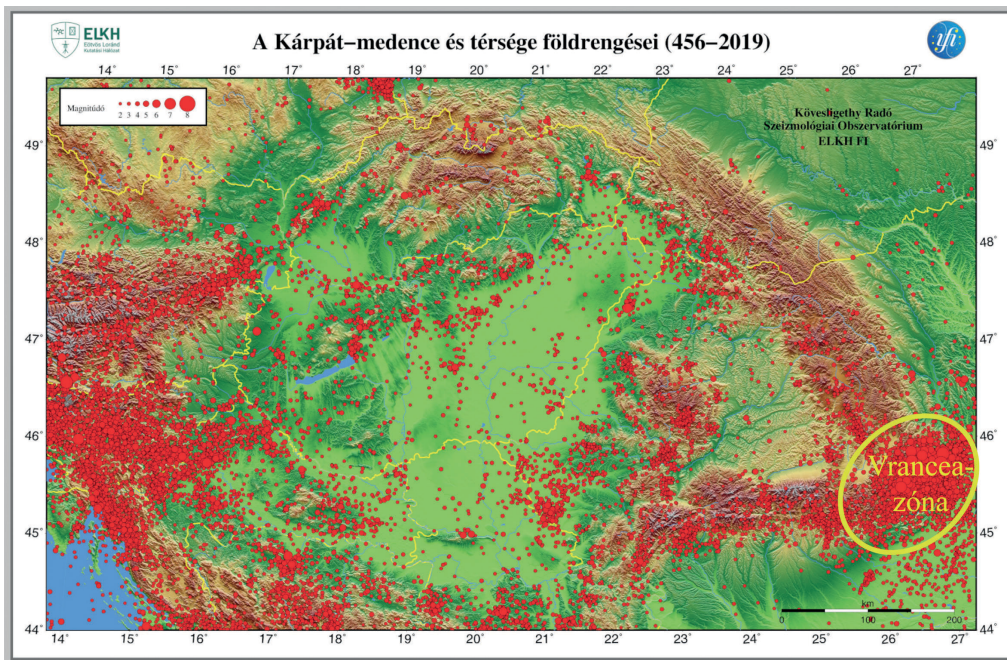
Az, hogy a Föld külső szilárd burka, a litoszféra, a többi geoszférával (a hidroszférával, az atmoszférával, az ionoszférával és a bioszférával) együtt egy olyan egymással összekapcsolt integrált rendszert alkot, amelyben kölcsönhatások és visszacsatolási folyamatok működnek, nem egy új keletű felfedezés, de arra, hogy ez a különben banális megállapítás a földrengés-előrejelzés területén is hasznosítható és kutatási stratégiák alapjául is szolgálhat, csak nemrég jöttek rá a tudósok. Többek között arra, hogy a földkéregben kialakult földrengésgócokban felhalmozódott feszültségek kipattanás előtti felgyorsulása hatást gyakorol nemcsak a környező szilárd kőzetekre és fluidumokra, hanem ez a hatás továbbterjed a földfelszín felé különböző fizikai és kémiai hordozóközegek által, és további hatásokat gerjeszt a felszínnel érintkező geoszférákban, például az atmoszférában. A leghatékonyabb ilyen hordozóközeget a radioaktív, nagy sűrűségű radon gáz képezi, amely a növekvő feszültségek hatására felszabadulhat a kőzetekből és szén-dioxid közvetítésével kerül a felszínre nagyobb mennyiségben. A radon radioaktív bomlása az atmoszféra ionizációjához vezet, amely elősegíti a légnedvesség kicsapódását, ami a maga rendjén a levegő páratartalmának érzékelhető csökkenéséhez és a hőmérséklet emelkedéséhez vezet a megemelkedett radonkiáramlások környezetében. Ez a folyamat megnöveli a lég-

kör vezetőképességét is, amely bizonyos esetekben akár az ionoszférában is anomáliát okozhat a plazmasűrűségben, amely szintén mérhető [3, illetve Barta és mtsai a jelenlegi különszám következő cikkében]. Mindezek a jelenségek a készülő földrengés szűkebb vagy tágabb környezetében mennek végbe és kimutathatók úgy földfelszínen elhelyezett szenzorok, mint műholdak által hordozott készülékek segítségével. Így a prekurzor jelenségek kutatásában két fő irány bontakozott ki, egyrészt távérzékelési módszerek, másrészt földfelszíni megfigyelési módszerek segítségével. Az előbbi területen egy orosz–amerikai kutatópáros (*Szergej Pulinyec és Dimitar Ouzounov*) végzett előljáró és eredményes kutatásokat, az utóbbin több ország kutatói jeleskednek, köztük elsősorban az olaszok, a kínaiak és a japánok. Az utóbbi két évtized során elért jelentős és sokat ígérő elméleti és gyakorlati kutatási eredményeket olyan nagy visszhangot keltő kötetekben tették közzé, mint amilyen a Pulinyec és Ouzounov által szerkesztett, 2018-ban megjelent kötet is [3], amelyek ezáltal lehetővé tették új kutatási stratégiák kidolgozását is. Az említett kötet akár az optimista tábor bibliájaként is értelmezhető. E fejlemények eredményeképpen az „optimizmusgörbe” újra emelkedni kezdett, ahogy azt az ábránk is mutatja.

Mindazonáltal kiderültek a fenti eredmények által megalapozott új kutatási stratégia gyengeségei is, mivel az főleg a távérzékelési megfigyelési módszereket helyezi előtérbe, miközben a földfelszíni megfigyeléseknek csak másodrendű, pótlólagos és megerősítési szerepet szán. E stratégia másik gyenge pontja az, hogy egyetemes érvényességűnek tekinti a kidolgozott, kizárólag a radon hatására épülő szatellites-előjelkimutató módszert, figyelmen kívül hagyva a földrengéses szerkezetek és egyúttal az azokhoz kapcsolódó prekurzor jelek sokféleségét.

És itt jön be a második stratégiai elv, a szeizmikus szerkezetek és azok prekurzor-ujjlenyomata egyediségének az elve, amelyet *Szakács* fogalmazott meg 2021-ben közölt dolgozatában [2]. Ennek az elvnek a kutatási stratégiában való alkalmazása ugyan az előbbinél sokkal szerényebb célokat szolgál, de szerintünk nagyobb sikerrel kecsegtet. Arról van szó, hogy egyetemesen érvényes és kimutatható prekurzor jelek azonosítási kísérlete helyett a kutatások az egyedi és ismert földrengésgócok szintén egyedi és jellemző, saját prekurzor-ujjlenyomatainak a kimutatására kellene irányuljanak minden rendelkezésre álló földfelszínen telepített vagy műholdakon felszerelt technikai eszközök (szenzorok) segítségével.

A harmadik kutatásstratégiai elv a földfelszíni szenzorok telepítési helyének a megválasztására vonatkozik abból a manapság már bizonyított megfontolásból kiindulva, hogy a földfelszín pontjai nem egyenértékűek a Föld belsejéből érkező, különböző típusú (fizikai, kémiai, biológiai) jelek érzékelhetőségének a szempontjából. Pontosabban szólva, a földrengésgócban a kipattanás előtt megszülető bármilyen prekurzor jelhordozó, legyen az fizikai erőter vagy felszínre törő gáz, sokkal nagyobb hatásfokkal (azaz kisebb információenergia-vesztéssel) ter-



2. ábra. A Vrancea-zóna elhelyezkedése a Kárpát-Pannon régió belül sárgával kiemelve. A jelölt területet igen gyakori és erős földrengések jellemzik ([www.seismology.hu](http://www.seismology.hu))

3. ábra. Az 1977. március 4-i, 7,2 magnitúdójú Vrancea földrengés következményei Bukarestben. Korabeli felvétel napilapban (*Agerpres*)

jed bizonyos, jól meghatározott, mint bármilyen más, útvonalak mentén. A prekursor jelhordozó a felszínre kerülhet olyan földtanilag azonosítható, a többiekénél „érzékenyebb” helyeken, pontokon, ahol megfelelően érzékeny műszerekkel a optimális körülmények között (azaz a legnagyobb jel-zaj arány mellett) lehet azt kimutatni, ahogy arra Szakács felhívta a figyelmet 2011-ben közölt dolgozatában [5].

További új és jelentős fejlemény a témakörben a *pargaszoszféra hipotézis* megjelenése [6] az ugyancsak paradigmaváltó potenciállal bíró elképzelések között, amely újszerű és eredeti megvilágításba helyezi azokat a lemeztektonikai folyamatokat, amelyek többek között a földrengések kialakulásáért is felelősek, és amelyekben kimagasló szerep jut a felszínre törő mélységi fluidumoknak (folyadékoknak és gázoknak), amelyek egyúttal földrengéseket megelőző prekursor jelek hordozói is lehetnek.

E három elvre és a pargaszoszféra hipotézisére együttesen alapozva egy hosszú távú de ígéretes kutatási stratégiát lehet kidolgozni, amely egyedi, jól ismert szeizmikus szerkezetek prekursor-ujjlenyomatának a kimutatását célozhatná meg világszerte.

## Vrancea - és hogyan tovább?

A romániai *Vrancea* földrengéses szerkezet kiválóan alkalmas erre a célra több megfontolásból is: jól ismert és térben kivételesen jól lehatárolt földrengésfészek, amelyeknek sok évszázadra kiterjedő földrengés-története ismert. Ráadásul Európa egyik geodinamikailag legaktívabb területén (a *keleti Kárpátkanyar zónájában*) található, amely a szeizmikus tevékenységen kívül további, jelenben is mű-

ködő vagy nemrég elhalt földtani folyamat jegeit viseli magán, és ahol a prekursor jelek kutatására alkalmas földtani és logisztikai feltételek adottak (2. és 3. ábra). Ezáltal minden esély megvan arra, hogy nemzetközileg is áttörő eredmények szülessenek itt a jövőben a prekursor jeleken alapuló földrengés-előrejelzés területén. Ehhez viszont az eddigieknél sokkal komolyabb anyagi és személyi erőforrásokra és nagyszabású nemzetközi multidiszciplináris összefogásra és támogatottságra van szükség, ahogy azt a *Topo-Transylvania holland-magyar-román együttműködés keretében* tett jelentős kezdeti lépések példázzák.

A jelen különszám további dolgozatai árnyalják a fent felvázolt helyzetrajzot, és az eddig elért eredményekről is beszámolnak.

Köszönjük az NKFIH NN141596 Topo-Transylvania és az MTA FI Lendület Pannon LitH<sub>2</sub>Oscope ösztöndíjak, és az abban résztvevő társkutatók támogatását.

## IRODALOM

1. Varotsos, P., Alexopoulos, K., Nomicos, K., and Lazaridou, M. Earthquake prediction and electric signals. *Nature*. 322, 120, 1986
2. Geller, R. J., Jackson, D. D., Kagan, Y. Y., and Mulargia, F. Earthquakes cannot be predicted. *Science*. 275, 5306, 1616, 1996
3. Pulnits, S., Ouzounov, D. The Possibility of Earthquake Forecasting. *Learning from nature*. IOP Publishing, Bristol, UK, 152 p., 2018
4. Szakács A. Precursor-Based Earthquake Prediction Research: Proposal for a Paradigm-Shifting Strategy. *Front. Earth Sci., Geohazards and Georisks*, Volume 8, 2020/ doi.org/10.3389/feart.2020.548398, Open Access, 2021
5. Szakács A. Earthquake prediction using extinct monogenetic volcanoes: A possible new research strategy. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 201, 404–411, 2011
6. Kovács I. J., Liptai N., Koptev A., Cloetingh S.A.P.L., Lange T. P., Ma enco L., Szakács A., Radulian M., Berkesi M., Patkó L., Molnár G., Novák A., Wesztergom V., Szabó Cs., Fancsik T. The 'pargasosphere' hypothesis: looking at global plate tectonics from a new perspective. *Global and Planetary Change*, 204(3–4):103547, 2021