

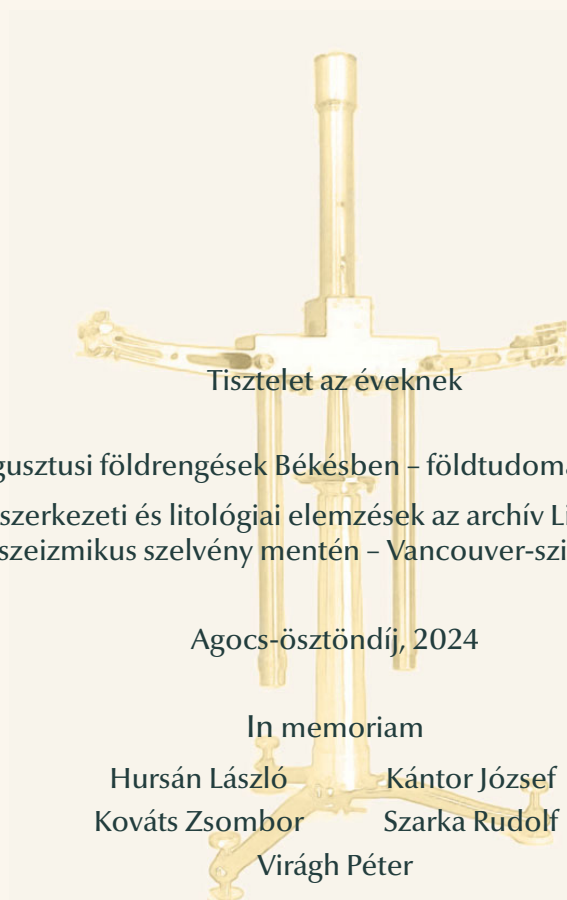
MAGYAR GEOFIZIKA

HUNGARIAN GEOPHYSICS

A MAGYAR
GEOFIZIKUSOK
EGYESÜLETÉNEK
FOLYÓIRATA



JOURNAL OF THE
ASSOCIATION
OF HUNGARIAN
GEOPHYSICISTS



Tisztelet az éveknek

2023. augusztusi földrengések Békésben – földtudományi háttér adatok
Előzetes szerkezeti és litológiai elemzések az archív Lithoprobe Line-4
mélyszeizmikus szelvény mentén – Vancouver-sziget, Kanadán

Agocs-ösztöndíj, 2024

In memoriam

Hursán László Kántor József
Kováts Zsombor Szarka Rudolf
Virágh Péter



MAGYAR GEOFIZIKA

HUNGARIAN GEOPHYSICS

65. évfolyam (2024) 2. szám



A MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETÉNEK FOLYÓIRATA
JOURNAL OF THE ASSOCIATION OF HUNGARIAN GEOPHYSICISTS

TARTALOM • CONTENTS

MGE HÍREK • NEWS OF ASSOCIATION OF HUNGARIAN GEOPHYSICISTS (AHG)

53 Tisztelet az éveknék (Members of honoured ages) – *Hegybíró Zs.*

TANULMÁNY • PAPER

56 2023. augusztusi földrengések Békésben – földtudományi háttér adatok (August 2023 earthquakes in Békés – Geoscience background data) – *Kiss J.*

74 Előzetes szerkezeti és litológiai elemzések az archív Lithoprobe Line-4 mélyszeizmikus szelvény mentén – Vancouver-sziget, Kanada (Preliminary structural and lithological studies along the archive Lithoprobe Line-4 deep seismic profile – Vancouver Island, Canada) – *Takács E., Hajnal Z., Gúthy T., Annesley I. R.*

HÍREK • NEWS

86 Agocs-ösztöndíj, 2024 – *Kis K., Galsa A.*

IN MEMORIAM

87 Hursán László – *Szabó N. P.*

88 Kántor József – *Szerkesztőség*

88 Kováts Zsombor – *Szerkesztőség*

89 Szarka Rudolf – *Kilényi É.*

90 Virágh Péter – *Sikó Á.*

MAGYAR GEOFIZIKA

HUNGARIAN GEOPHYSICS

65. évfolyam (2024) 2. szám

A MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETÉNEK FOLYÓIRATA
JOURNAL OF THE ASSOCIATION OF HUNGARIAN GEOPHYSICISTS

Főszerkesztő • Editor-in-Chief

DR. BODOKY TAMÁS

E-mail: mageofedit@gmail.com

Szerkesztőbizottság • Editorial Board

DR. GALSA ATTILA, DR. KISS JÁNOS, DR. LÓRINCZ KATALIN,

DR. PETHŐ GÁBOR, DR. SZABÓ NORBERT PÉTER

Technikai szerkesztő • Technical Editor

HOCK GÁBOR

E-mail: mageoftechn@gmail.com



Lapunk e számának megjelenését a
Magyar Tudományos Akadémia
támogatja

A szerkesztőség a szakcikket (tanulmányokat) szaklektorálás után közli. A szaklektorok névsorát az évfolyam záró számában tesszük közzé. A lapban megjelenő cikkek adatainak és állításainak helyességéért, ill. közölhetőségéért kizárólag a szerzők tartoznak felelősséggel.

Kiadja a Magyar Geofizikusok Egyesülete

A kiadásért felel: Dr. Timár Gábor

Szerkesztőség: 1145 Budapest, Columbus u. 17-23.

Telefon/Fax: (1) 201-9815

Titkársági e-mail: postmaster@mageof.t-online.hu

Honlap: www.mageofegy.hu

Megjelenik évente négyszer

INDEX: 26 507

HU ISSN 2677-1497 (online)

Tisztelet az éveknek

Kedves Szenior Tagtársak!

Ebben az évben Egyesületünk 70 éves lett, így bekerült a Kerek évfordulósok közé. Egyesületeknél az ilyen évfordulót nem szokás különösebben ünnepelni, de manapság, amikor sorra megszűnnek vagy legalábbis átalakulnak régi intézmények, szervezetek, megérdemljük, hogy megemlékezzünk saját születésnapunkról is.

Éves közgyűléseinken a beszámoló hangulata az utóbbi időkben mindig optimista volt. Többnyire két kritikus szempont merült fel: a taglétszám és a pénzügyi helyzet. Taglétszámunk csökken – de az apadás nem kritikus. Az átlagéletkor nő, ami az idei kerek évfordulós tagtársak létszámából is szembetűnő. Finanziálisan sikerült a biztonságot fenntartani. Szokásos rendezvényeinket továbbra is megtartjuk, sőt a fiatal tagtársaknak köszönhetően újításokat is

bevezettünk. Nemzetközi szinten továbbra is aktívan jelen vagyunk.

Kívánjuk, hogy a szeniorok jó példáját kövessék a mostanában pályájukat indító geofizikusok, akik számítanak az Önök tapasztalataira, segítségére az egyesület előtt álló feladatok megoldásában!

Kerek évfordulós születésnapjukat ünneplő minden tagtársunknak szeretettel gratulálunk, további hosszú boldog éveket kívánunk jó egészségben, aktivitásban, szeretteik körében!

Továbbra is szeretettel várjuk Önöket összejöveteleinken, szakmai találkozókra éppúgy, mint a szeniorok részére tervezett, közös programokon, találkozókra.

Tisztelettel,

Hegybíró Zsuzsanna
az MGE nevében

95. születésnapját ünnepli

Ádám Antal

90. születésnapját ünnepli

Karas Gyula, Kovács Béla, Márton Péter, Molnár Kálmánné, Papp Jenő,
Kilényi Éva, Szanyi Béla, Szederkényi Tibor

85. születésnapját ünnepli

Bucsi-Szabó László, Nemesi László, Sifter Gyula

80. születésnapját ünnepli

Csekéné Szander Judit, Gyulai Ákos, Hegymegi László, Kis Károly,
Péterfai Béla, Szalay Árpád, Tasnádi Henrikné, Tóth Lajos, Valcz Gyula,
Varga Péterné

75. születésnapját ünnepli

Ambrus Gábor, Böszörményi István, Fleischhacker Imréné,
Landy Kornélné, Nagy Zoltán, Pogácsás György, Szendrői Judit

70. születésnapját ünnepli

Magyar Geofizikusok Egyesülete, Bakai János, Berta Zsolt, Földes Tamás,
Hadházy Balázné, Hajdú György, Herczeg György, Kázmér Miklós,
Lendvay Pál, Rudics Róbert, Szarka László, Vermes Miklós



Ádám Antal



Karas Gyula



Kovács Béla



Márton Péter



Papp Jenő



Kilényi Éva



Szanyi Béla



Szederkényi Tibor



Nemesi László



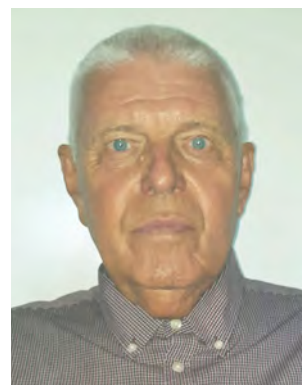
Gyulai Ákos



Hegymegi László



Kis Károly



Péterfai Béla



Tóth Lajos



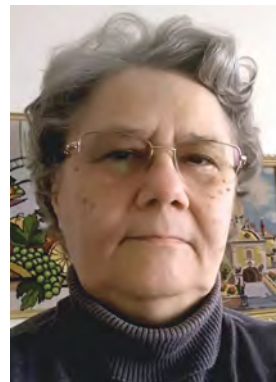
Varga Péterné



Böszörményi István



Pogácsás György



Szendrői Judit



MGE



Kázmér Miklós



Lendvay Pál



Szarka László

2023. augusztusi földrengések Békésben – földtudományi háttér adatok

KISS J.

Szabályzott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága (SZTFH), Földtani Igazgatóság,
H-1051 Budapest, Sas utca 20–22.
E-mail: janos.kiss@sztfh.hu

2023. augusztusában földrengések pattantak ki Szarvastól K-re. Földrengések Magyarországon is elő szoktak fordulni, de nem ilyen mennyiségben (száznál több rengés volt) és nem ilyen erősséggel (hat 3,5 magnitúdó feletti rengést regisztráltak). Érdekes volt tehát megvizsgálni a rengéseket, a terület földtani környezetét és a rendelkezésre álló, mélyebb szintek felépítését mutató geofizikai adatokat is. Ez a tárgya a következő tanulmánynak.

Kiss, J.: August 2023 earthquakes in Békés – Geoscience background data

In August 2023 there were earthquakes east of Szarvas. Earthquakes happen in Hungary too, but usually not in such a quantity (there were more than 100) and not with such strength (6 earthquakes were registered over magnitude 3,5). So it is worth to study those earthquakes, the geological environment of their area and the available geophysical data showing the structure of deeper levels. That is the subject of the next paper.

Beérkezett: 2024. február 7.; elfogadva: 2024. július 25.

1. Prológus

Az ember hatással van a környezetére és az emberiség „bűntettei” megjelenhetnek akár negatív visszacsatolásban is a természeti folyamatokban, de a természet erőihez képest ezek a hatások jelentéktelenek. Gondoljunk csak a nagy vulkánkitörések hatására vagy a földrengésekre, hogy ezekben mekkora erők szabadulnak fel, vagy az ezeknek a következményeképpen kialakuló cunamikra és mindezeknek az emberiségre gyakorolt hatására! A természettudományokkal, ezen belül is főként a földtudományokkal foglalkozó szakemberek tisztában vannak vele, hogy egy-egy ilyen földi, természeti folyamat az élőlények részleges vagy akár teljes kihalásához is vezethet, amit számítógéppel, okostelefonnal vagy mesterséges intelligenciával nem tudunk megakadályozni!

A jelen cikkben az 2023 augusztusában lezajlott békési rengésekkel kapcsolatban összegezzük elsősorban a földtanhoz kapcsolódó geofizikai információkat, mert a megjelent számos vélemény és hozzászólás között csak a konkrét földtani háttérinformációk nem jelentek meg. Nem fogunk beszélni az ipar tevékenységéről az adott körzetben, mert azt nem ismerjük eléggé.

2. Földrengések

Augusztus második felében, az Alföldön, Szarvastól 9–12 km távolságra, K-re, 100-nál több földrengés pattant ki. A rengések magnitúdója 0,6–4,2 között változott. A nagyobb magnitúdójú rengések fészekmélysége (előzetes hipocentrummeghatározások alapján) 12 ± 3 km, illetve 23 ± 3 km közötti mélységben volt (1. táblázat) (a publikusan elérhető forrás adatok: www.foldrenges.hu).

Magnitúdóról beszélve meg kell vizsgálnunk, hogy mit is jelent a magnitúdó (avagy a Richter-skála¹⁾). Ehhez, a www.foldrenges.hu oldalon találunk szemléletes információt (1. ábra). Látszik, hogy a földrengések magnitúdó értékei között nagyságrendi különbség van a felszabaduló energia szempontjából! A 4-es magnitúdójú rengés a gyenge és kis rengések határvonala, legutoljára Oroszlányon (2011) és Gyömrőn (2006) volt hasonló erősségű földrengés Magyarországon, ezek energiája 1011 joule körüli volt (ami a nagyszaki 20 kT-s atombomba energiájának megfelelő). Éves szinten, a Földön, 10–15 ezer ilyen, 4-es körüli rengés pattant ki.

A honlapon a békési (12×12 km-es területre eső) rengések táblázata (2. táblázat) is elérhető, amelyet szintén

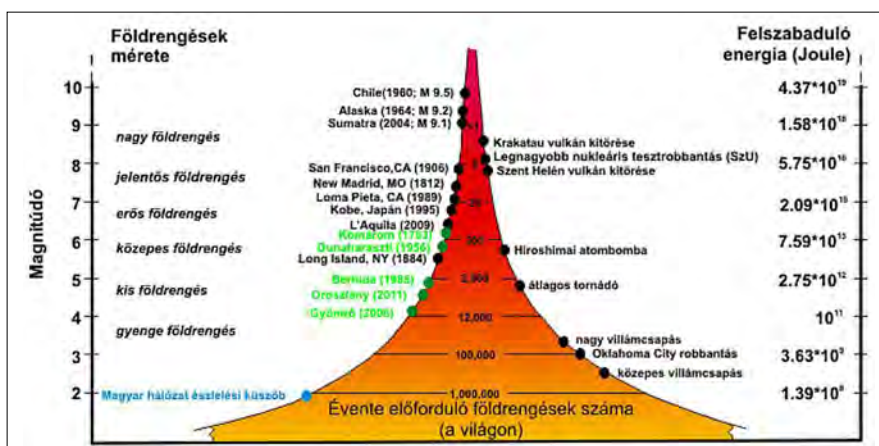
érdeemes megvizsgálni! A 2. ábra a földrengéseket mutatja, időbeli sorrendben (augusztus 19. 8.00–24.00 óra között) a magnitúdó alapján. A magnitúdó értéke a szimbólumok nagyságával arányos, és felirattal is jelezve van. Piros szaggatott vonalakkal jelöltük a fő rengések után kialakult lehetséges utórengési sorozatokat. Látszik, hogy egy 1,4-es kicsi rengés után jön szinte egy időben két 4,1-es rengés

(egymást fedik az ábrán), majd azok után időben eltolódva a többi utórengés. Az ábrákon az átfedések miatt nem látszik, de a táblázatból kiderül, hogy 2023. augusztus 19–20-án hat 3,5 vagy annál nagyobb magnitúdójú rengés volt (3. táblázat).

A 2. ábra tartalmát megismételve, de a színezéskor nem a magnitúdó értékét, hanem az első rengéstől eltelt

1. táblázat | Néhány rengés előzetes adata – koordináta, hipocentrum, magnitúdó
Table 1 | Preliminary data of some earthquakes – coordinate, hypocenter, magnitude

Dátum	Magnitúdó	EOVy (m)	EOVx (m)	Hipocentrum (km)	Szórás ± (km)
2023. 08. 19. 09:37	2,20	774 927	169 837	-23	3
2023. 08. 20. 01:52	4,13	773 243	166 466	-15	2
2023. 08. 22. 22:35	3,70	775 346	168 067	-12	3
2023. 09. 08. 05:09	3,20	774 313	166 377	-16	NA



1. ábra | Földrengés magnitúdóértékek, nagyobb földi rengések, rengések éves gyakorisága, hasonló erejű pusztító jelenségek és a rengés során felszabaduló energia mértéke (http://www.foldrenges.hu/index.php?option=com_content&view=article&id=15:magnitudo&catid=19&Itemid=23)

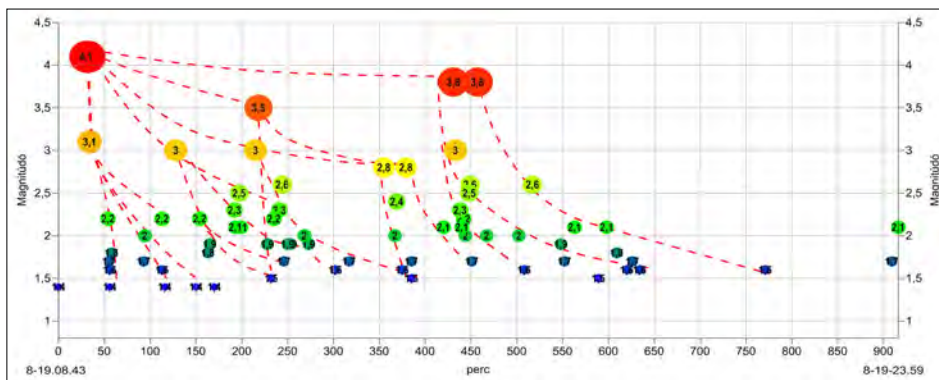
Figure 1 | Earthquake magnitude values, major earthquakes, annual frequency of earthquakes, destructive phenomena of similar strength and the amount of energy released during the earthquake

2. táblázat | Békési rengések ideje, magnitúdója, helye és távolsága az első rengéstől
Table 3 | Time, magnitude, location and distance of the first earthquake in Békés

Dátum	Magnitúdó	EOVy	EOVx	Távolság	Dátum	Magnitúdó	EOVy	EOVx	Távolság
2023. 08. 19. 08:43:55	1,4	774 750	167 387	0	2023. 08. 19. 10:17:31	2,0	775 713	168 741	1661,530921
2023. 08. 19. 09:13:27	4,1	773 955	168 927	1733,096939	2023. 08. 19. 10:18:19	2,0	773 876	169 036	1866,300351
2023. 08. 19. 09:16:37	4,1	773 124	164 796	3058,947041	2023. 08. 19. 10:36:20	2,2	775 443	167 068	762,8957989
2023. 08. 19. 09:17:52	3,1	774 802	172 169	4782,282719	2023. 08. 19. 10:36:55	1,6	776 470	165 422	2611,441173
2023. 08. 19. 09:37:24	2,2	774 927	169 837	2456,385353	2023. 08. 19. 10:39:03	1,4	777 576	163 666	4672,485099
2023. 08. 19. 09:38:01	1,7	777 874	164 006	4603,318042	2023. 08. 19. 10:51:12	3,0	773 002	167 017	1786,729974
2023. 08. 19. 09:39:05	1,4	773 171	166 242	6533,105923	2023. 08. 19. 11:13:27	1,4	777 914	162 117	6146,852528
2023. 08. 19. 09:39:51	1,6	780 962	169 410	1950,452768	2023. 08. 19. 11:17:04	2,2	774 377	166 934	586,8032038
2023. 08. 19. 09:41:16	1,8	779 275	169 818	5136,670712	2023. 08. 19. 11:26:45	1,8	775 993	166 301	1650,589289
2023. 08. 19. 10:16:09	1,7	786 097	168 302	11383,83213	2023. 08. 19. 11:28:43	1,9	772 273	169 114	3019,612227

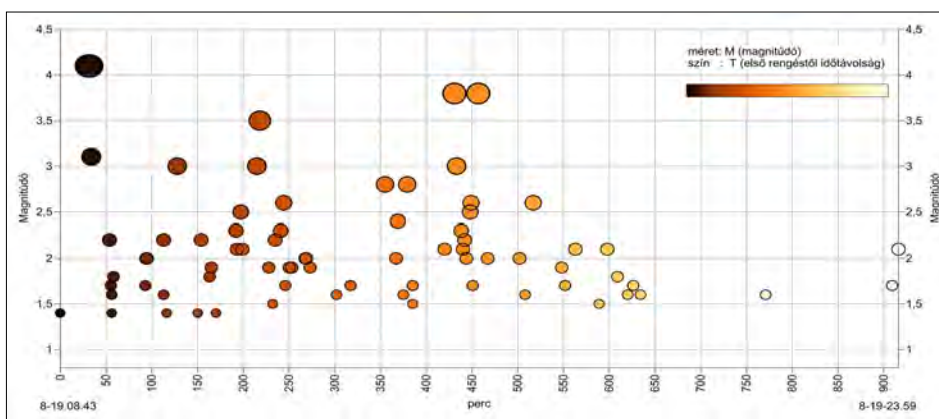
2. táblázat | Békési rengések ideje, magnitúdója, helye és távolsága az első rengéstől *(folyt.)*
 Table 3 | Time, magnitude, location and distance of the first earthquake in Békés *(cont'd.)*

Dátum	Magni- túdó	EOVy	EOVx	Távolság	Dátum	Magni- túdó	EOVy	EOVx	Távolság
2023. 08. 19. 11:33:28	1,4	774 636	169 163	1779,655023	2023. 08. 19. 17:55:17	1,7	775 140	166 950	585,7209233
2023. 08. 19. 11:55:59	2,3	776 861	168 543	2406,793926	2023. 08. 19. 18:06:41	2,1	776 165	165 415	2427,140087
2023. 08. 19. 11:56:33	2,1	774 687	166 718	671,9598202	2023. 08. 19. 18:32:24	1,5	771 023	170 534	4877,923534
2023. 08. 19. 12:00:53	2,5	775 293	166 953	695,1294843	2023. 08. 19. 18:41:54	2,1	776 901	166 654	2272,463421
2023. 08. 19. 12:02:11	2,1	774 601	170 830	3446,22257	2023. 08. 19. 18:52:24	1,8	774 456	166 825	634,255469
2023. 08. 19. 12:18:37	3,0	773 312	166 801	1552,816795	2023. 08. 19. 19:03:55	1,6	771 504	165 652	3680,589763
2023. 08. 19. 12:21:47	3,5	775 674	166 961	1017,473341	2023. 08. 19. 19:09:32	1,7	772 924	167 127	1844,417523
2023. 08. 19. 12:31:40	1,9	775 560	168 738	1575,214589	2023. 08. 19. 19:17:44	1,6	775 687	169 964	2742,060904
2023. 08. 19. 12:35:24	1,5	772 235	167 224	2520,276572	2023. 08. 19. 21:34:47	1,6	776 225	169 753	2788,114237
2023. 08. 19. 12:38:26	2,2	776 732	167 429	1982,444955	2023. 08. 19. 23:52:41	1,7	778 062	165 900	3630,497624
2023. 08. 19. 12:44:10	2,3	775 621	165 849	1767,508133	2023. 08. 19. 23:59:19	2,1	777 145	169 550	3227,16501
2023. 08. 19. 12:47:30	2,6	776 027	168 303	1571,554962	2023. 08. 20. 00:08:49	1,4	773 259	165 688	2260,460573
2023. 08. 19. 12:49:50	1,7	776 303	166 085	2026,57667	2023. 08. 20. 00:36:29	1,8	776 016	168 859	1941,530324
2023. 08. 19. 12:53:57	1,9	775 864	165 187	2465,967559	2023. 08. 20. 00:37:14	1,7	776 880	167 654	2146,669281
2023. 08. 19. 12:56:32	1,9	776 644	167 983	1985,560878	2023. 08. 20. 00:41:41	1,7	779 854	167 718	5114,721596
2023. 08. 19. 13:11:00	2,0	775 297	166 731	854,1340644	2023. 08. 20. 01:25:17	1,9	776 000	165 968	1891,047593
2023. 08. 19. 13:12:34	2,0	775 891	167 522	1148,958659	2023. 08. 20. 01:52:58	4,1	773 243	166 466	1766,151183
2023. 08. 19. 13:16:29	1,9	776 496	167 757	1784,773375	2023. 08. 20. 01:59:49	2,3	775 905	166 855	1271,632415
2023. 08. 19. 13:45:05	1,6	773 421	168 916	2025,8534	2023. 08. 20. 02:09:27	1,0	771 913	164 326	4173,522493
2023. 08. 19. 14:00:23	1,7	773 950	169 149	1935,108266	2023. 08. 20. 02:15:11	1,6	775 065	163 279	4120,059344
2023. 08. 19. 14:38:53	2,8	774 389	166 379	1070,6937	2023. 08. 20. 03:03:19	1,1	781 256	166 414	6578,355798
2023. 08. 19. 14:50:14	2,0	774 629	165 828	1563,688588	2023. 08. 20. 03:13:33	3,5	773 788	165 921	1753,453735
2023. 08. 19. 14:52:49	2,4	775 538	166 180	1441,455168	2023. 08. 20. 03:19:53	1,8	777 419	167 443	2669,587421
2023. 08. 19. 14:58:17	1,6	776 842	165 874	2581,788721	2023. 08. 20. 03:29:01	1,1	769 339	167 054	5421,236944
2023. 08. 19. 15:02:10	2,8	774 368	163 710	3696,789553	2023. 08. 20. 04:57:01	1,7	776 943	171 881	5000,528472
2023. 08. 19. 15:08:11	1,7	774 902	167 390	152,0296024	2023. 08. 20. 05:44:14	1,9	776 217	166 528	1699,991176
2023. 08. 19. 15:08:35	1,5	776 573	167 759	1860,567924	2023. 08. 20. 08:59:30	1,9	774 491	168 827	1463,106626
2023. 08. 19. 15:43:07	2,1	774 063	167 373	687,1426344	2023. 08. 20. 09:20:42	2,2	774 687	166 718	671,9598202
2023. 08. 19. 15:54:09	3,8	774 061	167 484	695,7945099	2023. 08. 20. 15:47:40	1,7	772 942	166 237	2142,746835
2023. 08. 19. 15:56:08	3,0	776 296	166 419	1824,044956	2023. 08. 20. 15:49:05	2,1	779 297	165 260	5019,894222
2023. 08. 19. 16:01:15	2,3	776 372	166 420	1888,378405	2023. 08. 20. 18:32:02	2,0	777 128	166 770	2456,74032
2023. 08. 19. 16:03:57	2,1	775 750	166 963	1086,17494	2023. 08. 20. 21:21:38	1,8	777 895	166 564	3250,900491
2023. 08. 19. 16:05:24	2,2	777 037	167 435	2287,503661	2023. 08. 21. 11:24:10	2,3	780 034	166 499	5358,096677
2023. 08. 19. 16:07:16	2,0	776 046	167 414	1296,281219	2023. 08. 21. 17:40:11	2,6	776 684	166 093	2326,970563
2023. 08. 19. 16:11:44	2,5	777 027	164 322	3818,239647	2023. 08. 21. 19:47:30	1,1	774 599	167 273	189,2009514
2023. 08. 19. 16:12:14	2,6	773 072	167 352	1678,364978	2023. 08. 22. 01:54:36	1,5	777 483	164 443	4017,016928
2023. 08. 19. 16:14:04	1,7	777 664	170 228	4069,726895	2023. 08. 22. 07:46:27	1,7	775 803	168 076	1258,383884
2023. 08. 19. 16:20:03	3,8	773 005	166 906	1810,079004	2023. 08. 22. 22:35:15	3,7	775 346	168 067	904,2212119
2023. 08. 19. 16:30:12	2,0	774 962	168 170	811,1923323	2023. 08. 22. 22:45:16	0,8	775 897	163 631	3927,231213
2023. 08. 19. 17:05:31	2,0	774 128	167 930	825,6712421	2023. 08. 23. 07:16:02	2,2	775 611	169 962	2715,132778
2023. 08. 19. 17:11:36	1,6	774 195	168 376	1134,083771	2023. 08. 24. 01:56:02	0,9	774 144	170 821	3487,060653
2023. 08. 19. 17:20:07	2,6	775 915	166 411	1519,802948	2023. 08. 25. 13:50:36	2,0	777 855	168 453	3282,89217
2023. 08. 19. 17:51:21	1,9	773 460	167 026	1339,560002	2023. 09. 08. 05:09:10	3,2	774 313	166 377	1100,485802



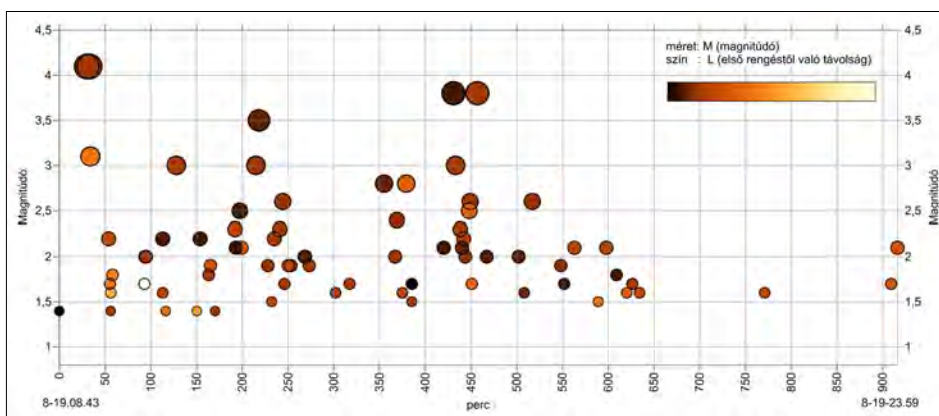
2. ábra | Békési rengések, utóregések, rengésrajok, időrendi sorrendben, méret és szín magnitúdo szerint (augusztus 19-én 8.00–24.00 óra között)

Figure 2 | Earthquakes, aftershocks, earthquake swarms in Békés, in chronological order, according to size and color magnitude (August 19, between 8.00 a.m. and 12.00 p.m.)



3. ábra | Békési rengések, utóregések, rengésrajok – időrendi sorrendben, méret a magnitúdo szerint, szín az idő szerint (augusztus 19-én 8.00 – 24.00 óraközött)

Figure 3 | Earthquakes, aftershocks, earthquake swarms in Békés – in chronological order, size according to magnitude, color according to time (August 19 between 8:00 a.m. and 12:00 p.m.)



4. ábra | Békési rengések, utóregések, rengésrajok – időrendi sorrendben, méret a magnitúdo szerint, szín a (0–7 km) távolság szerint (augusztus 19-én 8.00–24.00 óra között)

Figure 4 | Earthquakes, aftershocks, earthquake swarms in Békés – in chronological order, size according to magnitude, color according to distance (0–7 km) (on August 19, between 8:00 a.m. and 12:00 p.m.)

időt (fekete–barna–sárga színekkel) véve alapul, rajzolódik ki a 3. ábra. A 2023. 08. 19. 9.00 órakor jelentkező két 4,1 magnitúdójú rengés után 12.00 órakor jött egy

3,5 magnitúdójú, majd 15.30 és 16.15 körül két (3,7 és 3,8 magnitúdójú) rengés. A legérdeesebb az, hogy az egész békési rengésrajt – az ábra szerint – 2023. 08. 19. 8.25

3. táblázat $\geq 3,5$ M földrengések időrendi sorrendben, amelyek egy 3 km-es zónára korlátozódnak
Table 3 ≥ 3.5 M earthquakes in chronological order confined to a 3 km zone

Dátum	Magnitúdó	EOVy	EOVx	Távolság
2023. 08. 19. 08:43:55	1,4	774750	167387	0
2023. 08. 19. 09:13:27	4,1	773955	168927	1733,096939
2023. 08. 19. 09:16:37	4,1	773124	164796	3058,947041
2023. 08. 19. 12:21:47	3,5	775674	166961	1017,473341
2023. 08. 19. 16:20:03	3,8	773005	166906	1810,079004
2023. 08. 20. 01:52:58	4,1	773243	166466	1766,151183
2023. 08. 20. 03:13:33	3.5	773788	165921	1753.453735

körül keletkezett 1,4 magnitúdójú rengés „indítja” be. Érdekes tehát a rengések egymástól való távolságát is megvizsgálni, hogy a rengésrajon belüli kapcsolatok talán jobban látszanak.

A 4. ábra tengelyei ugyanazok, mint a 2. ábra vagy 3. ábra tengelyei, de itt most az első rengéstől eltelt idő alapján színeztük be a szimbólumokat – minél sötétebb, annál közelebb van az első rengéshez. A legnagyobb rengések (hat rengés) az első 1,4 M rengés 3 km-es környezetében vannak (3. táblázat), s belőlük öt 2 km-en belül.

Néhány rengés esetében előzetes hipocentrummeghatározás is történt (1. táblázat). A hipocentrummélységek (1. táblázat) és az intenzitások alapján első közelítésben a rengéseknek mélyföldtani okai lehetnek – az emberi tevékenység hatására bekövetkező rengések a gyakorlati tapasztalatok alapján a beavatkozás mélységében jelentkeznek.

Ez viszont azt jelenti, hogy a felszíni földtani felépítés, a mélyfúrások alapján meghatározott medencealjzat-felszín (~3500 m-en) vagy az ismert medencealjzat-szerkezet nem biztos, hogy fel fogja tudni fedni a rengések okait, vagyis ebben az esetben a geofizikai mérések alapján meghatározott mélyföldtani felépítés adhat érdemben információt a lehetséges okokról.

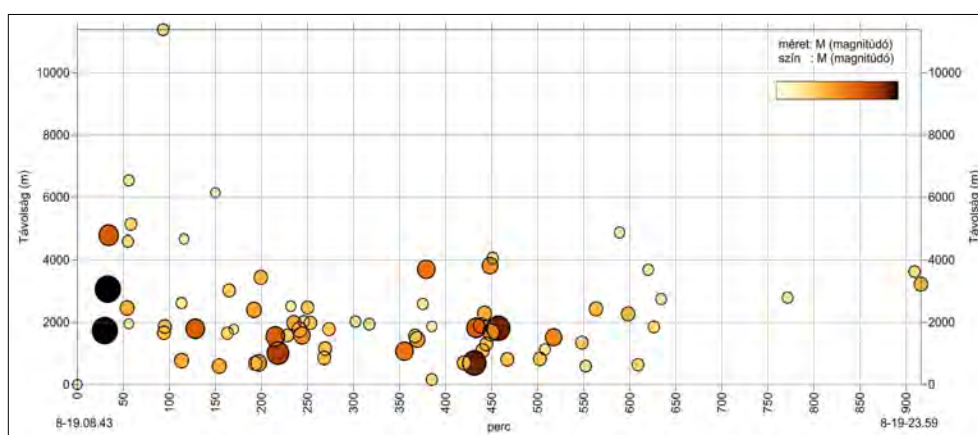
Az 5. ábra mutatja az idő függvényében a kipattant földrengések távolságát a legelső rengéstől. Látszik, hogy a főbb rengések egy durván 3–5 km sugarú körben következtek be (6. ábra). A rengések csoportosan (rajokban) történtek augusztus 19. és szeptember 8. között (2. táblázat, 7. ábra).

3. Térképező földtani-geofizikai adatok

A rengések helye a prekainozoos földtani térkép (Haas et al. 2010, 2014) alapján tektonikus szerkezetekkel erősen terhelt területrezen található (8. ábra). A medencealjzat 3–4 km-es mélysége és a rengések 12–23 km mélysége viszont egy mélyebb elmozdulási szintre mutatnak. A nagyobb, mély és erős rengéseket követheti gyengébb, sekélyebb szintű utóregés (2. ábra), ami a terület statikus energiaminimum állapotának (össztömeg-egyensúlyának) elérése céljából, azaz feszültségkiegyenlítés, anyagátrendezés miatt történik.

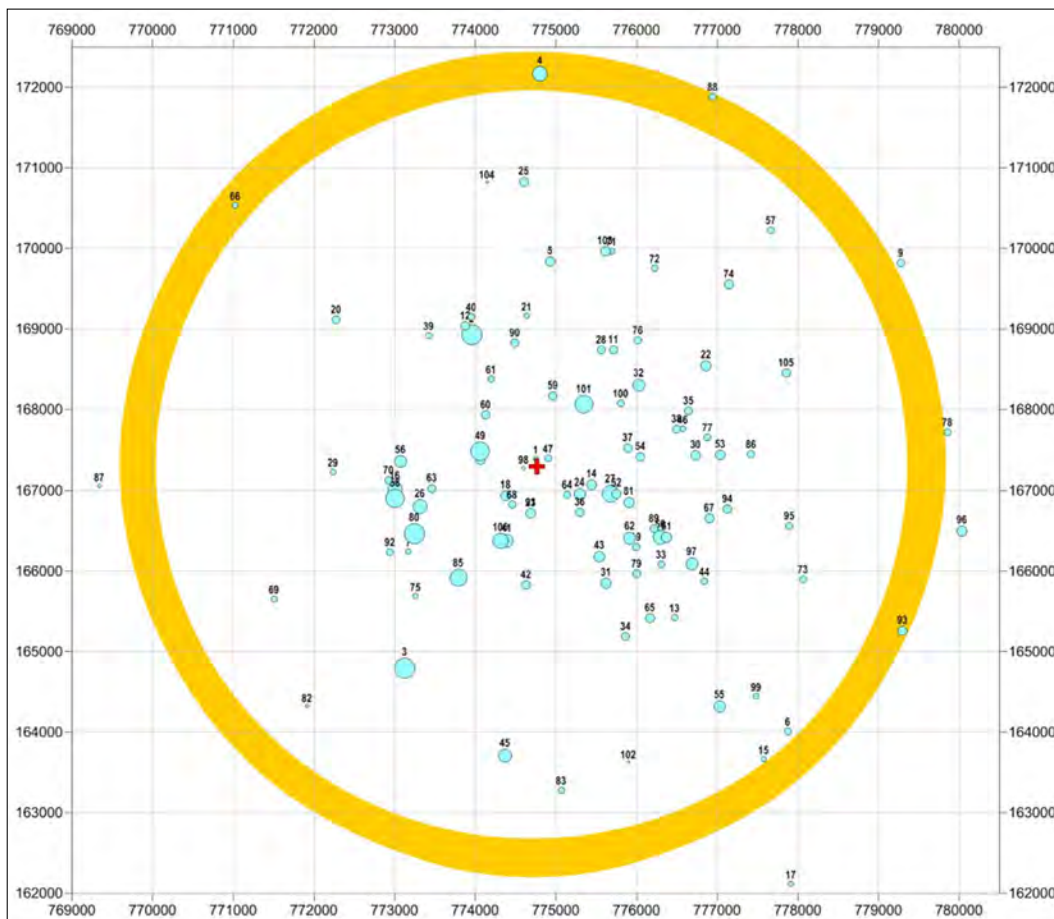
3.1. Gravitációs adatok

Az Eötvös Loránd által elkezdett gravitációs mérések területi fedettséget adnak az országnak (Kiss, Gulyás 2005) és



5. ábra Békési rengések, utóregések, rengésrajok – időrendi sorrendben, az első rengéstől való távolsággal (augusztus 19-én 8.00–24.00 óra között)

Figure 5 Earthquakes, aftershocks, earthquake swarms in Békés – in chronological order, with distance from the first earthquake (August 19, between 8:00 a.m. and 12:00 p.m.)



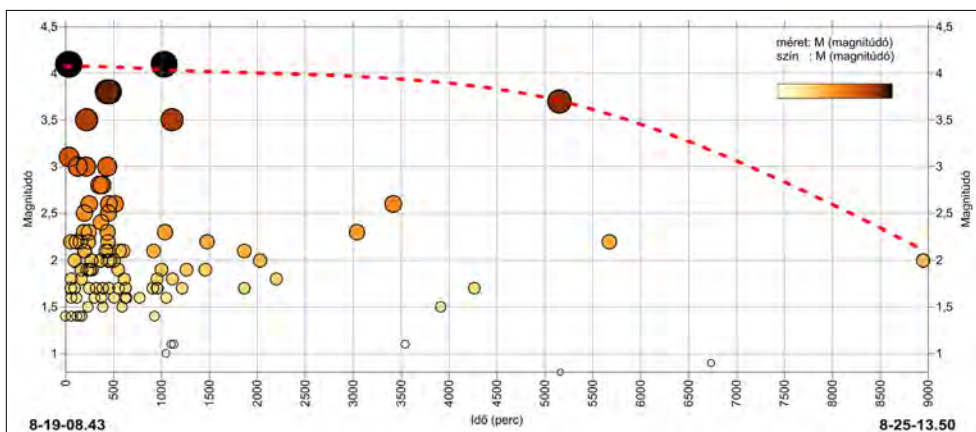
6. ábra | A 2023. augusztusi békési földrengések területi eloszlása (időrendi sorszámmal, magnitúdó-arányosan)

Figure 6 | Spatial distribution of Békés earthquakes in August 2023 (in chronological order, proportional to magnitude)

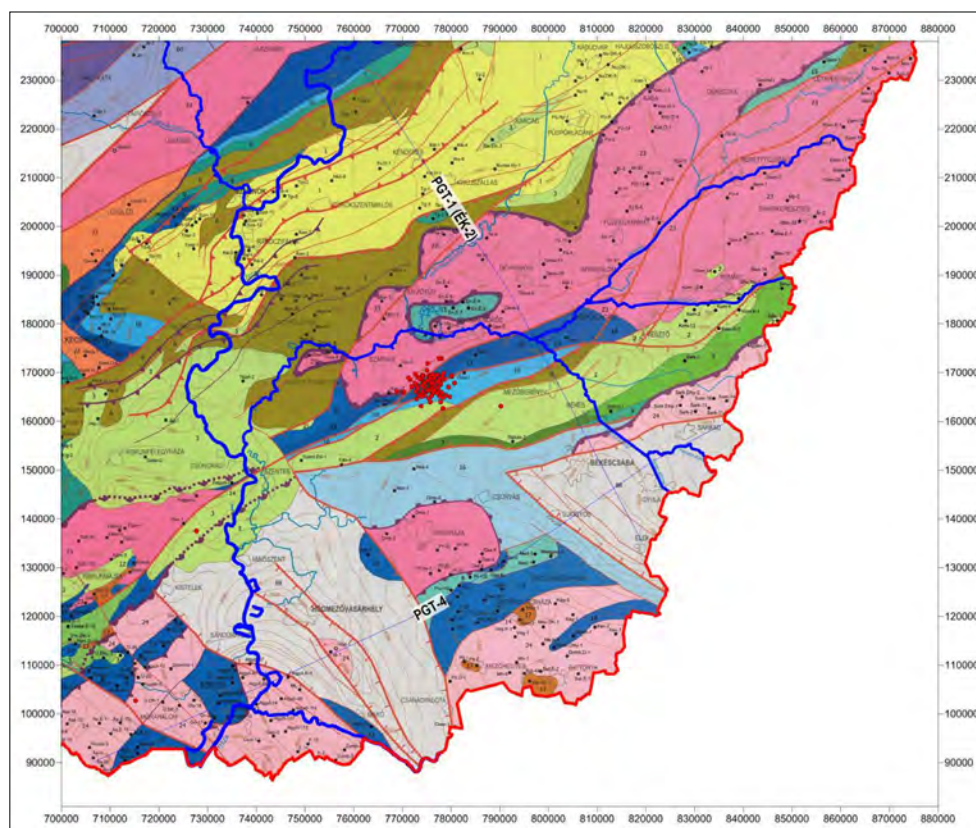
ma már a Kárpát-medence teljes területére (Kiss 2006, 2014, 2016). A Kárpát-medence belseje felett tapasztalt izosztatikus eredetű (Kiss 2009, 2010) gravitációs maximumot felszabdáló minimumzónák alapján, különböző szűrések segítségével regionális gravitációs lineamensek

lettek kijelölve, ennek Szarvas környékére eső részét mutatja a 9. ábra.

Látható, hogy a közel Ny–K irányú regionális gravitációs lineamens közvetlen közelébe esnek a rengések (Kiss 2006, „Kapos–Körös vonal”). A rengések helyei minimumzónák kereszteződésénél vannak, a másik irány a ÉÉNy–DDK-i



7. ábra | Békési földrengések augusztus 19–25. között
Figure 7 | Earthquakes between August 19 and 25 in Békés



Jelmagyarázat:

- | | |
|--|--|
| 2 – Senon flis | 13 – Középső triász sekélytengeri, sziliciklasztos és karbonátos összlet |
| 6 – Alsó kréta bázisos vulkanitok és ezek áthalmazott tengeri üledékei | 23 – Variszkuszi (karbon, perm) metamorfit összlet, gneisz, csillámpala, amfibolit |
| 10 – Alsó–középső jura pelágikus, finom sziliciklasztos összlet | |

8. ábra A békési rengések a Haas-féle (2010) prekainozoos medencealjzat térképén a PGT–1 és PGT–4 szelvények nyomvonalával. A rengések a prekainozoos medencealjzat felszínén a paleozoos metamorfitok [23] és a mezozoos sziliciklasztos, karbonátos [13] és pelágikus [10] képződmények kontaktuszonájában jelentkeznek. (A képződmények ismertetését a Függelék mutatja, a medencealjzat-mélységet a 20. ábra.)

Figure 8 The Békés earthquakes on the Haas (2010) Pre-Cenozoic basement map with the traces of the PGT–1 and PGT–4 sections. The earthquakes occur on the surface of the Pre-Cenozoic basement in the contact zone of Paleozoic metamorphites and Mesozoic siliciclastic, carbonate [13] and pelagic [10] formations. (The description of the formations is shown in Appendix, the depth of the basement is shown in Figure 20)

irány, amihez szintén van regionális lineamens (középvonalban), de ez egy szélesebb zóna, amelynek az É–ÉK-i peremén vannak a rengések, és a rengésrajok irányítottsága kezdetben ez az irány volt.

A gravitációs anomáliák spektrális jellege (térfrekvenciája, az anomáliák hullámhosszúsága) a hatások mély-

4. táblázat Gravitációs anomáliák spektrális szűrése – mélység és mélységtartomány
Table 4 Spectral filtering of gravity anomalies – depth and depth range

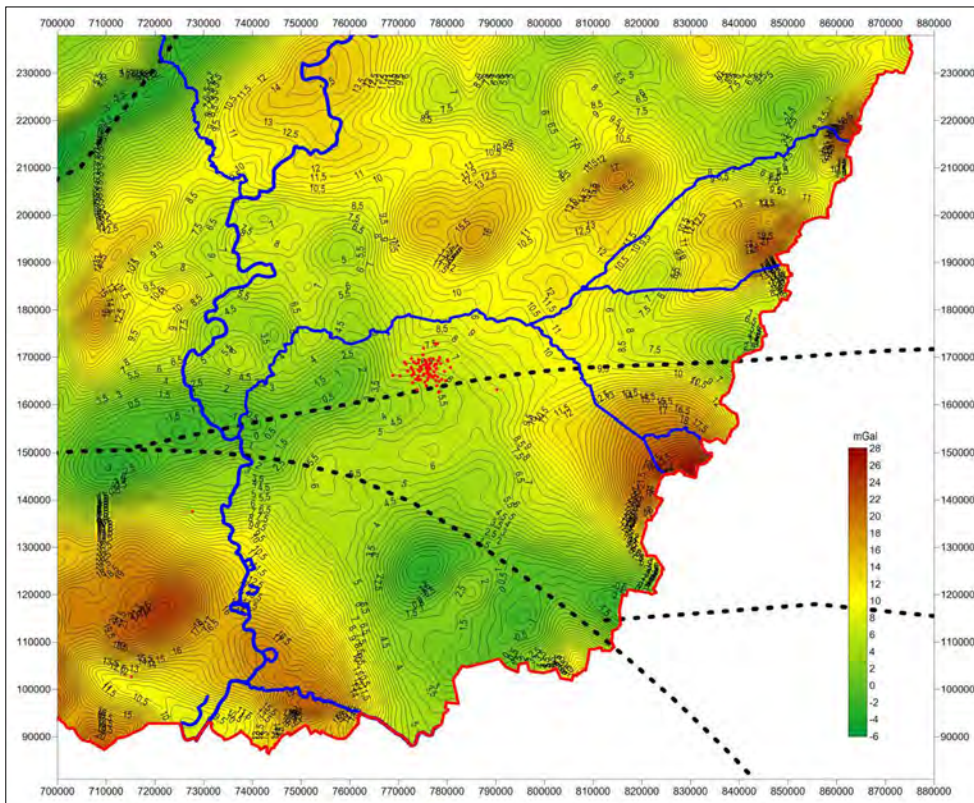
Szűrt adat	Spektrális mélység	Mélységtartomány
dg2_h200.grd	200	<500
dg2_h1300.grd	1300	500–2400
dg2_h4500.grd	4500	2400–7000
dg2_h16000.grd	16000	>7000

ségéről is hordoznak információt, ezt is érdemes megvizsgálni (Kiss 2012, 2014). A spektrális szűrések alapján 4 mélységtartományt lehet azonosítani, amelyek jellemző mélységét és mélységtartományát a 4. táblázat mutatja. A Bouguer-anomália-térkép szűréséből kapott spektrálisan szűrt térképek az adott szűrések mélységtartományába eső gravitációs hatásokat mutatják.

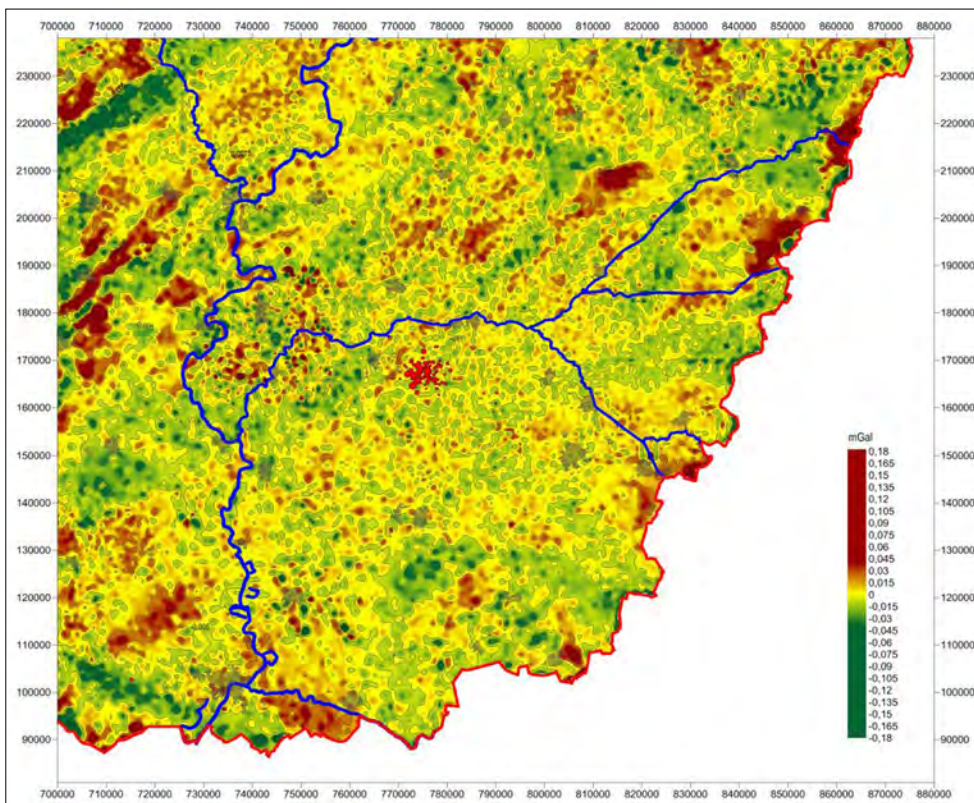
A 10. ábra térképe a felső 500 m-es összlet gravitációs hatását látjuk. Ezen a közel Ny–K-i lineamens csak halványan jelentkezik, sokkal erősebb a prekainozoos földtani térképről (Haas et al. 2010) ismert ÉK-i irányú szerkezeti vonal.

A 11. ábra térképe a 500–2400 m-es mélységtartományi összlet gravitációs hatását mutatja. Ezen a földtani térkép szerkezete mellett már határozottabban megjelenik a közel Ny–K-i lineamens is.

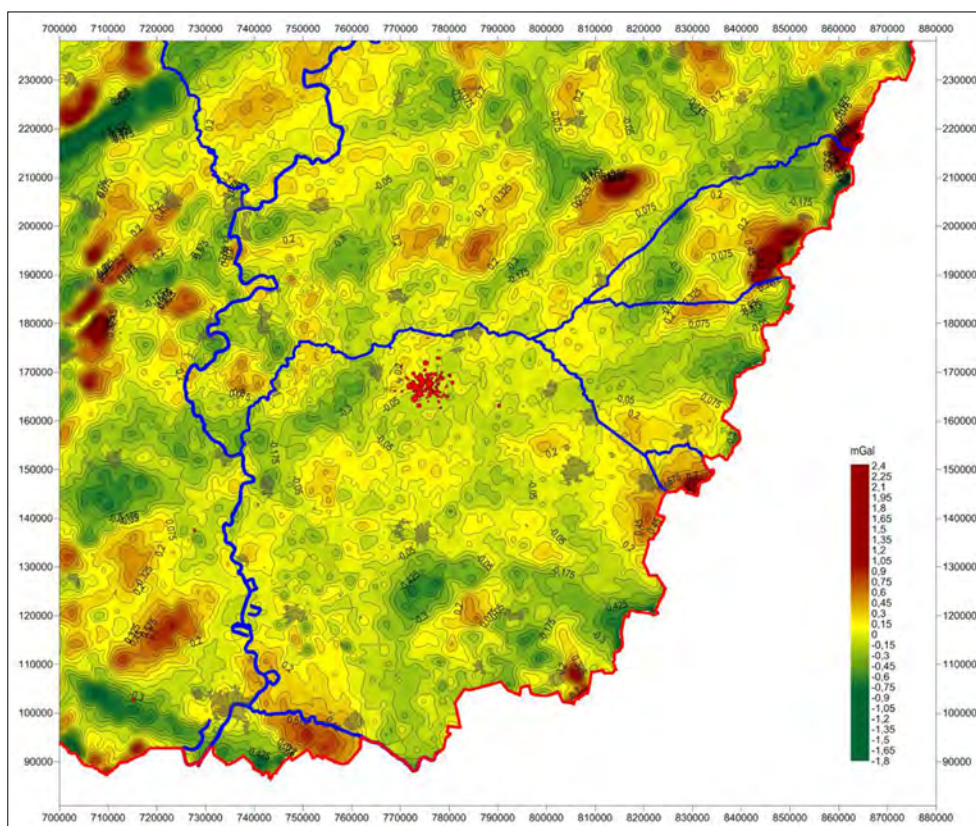
A 12. ábra térképe a 2400–7000 m közötti gravitációs hatásokat mutatja. A földtani térképről ismert szerkezet megjelenése gyengül, de egyre erősebb a Ny–K-i, sőt



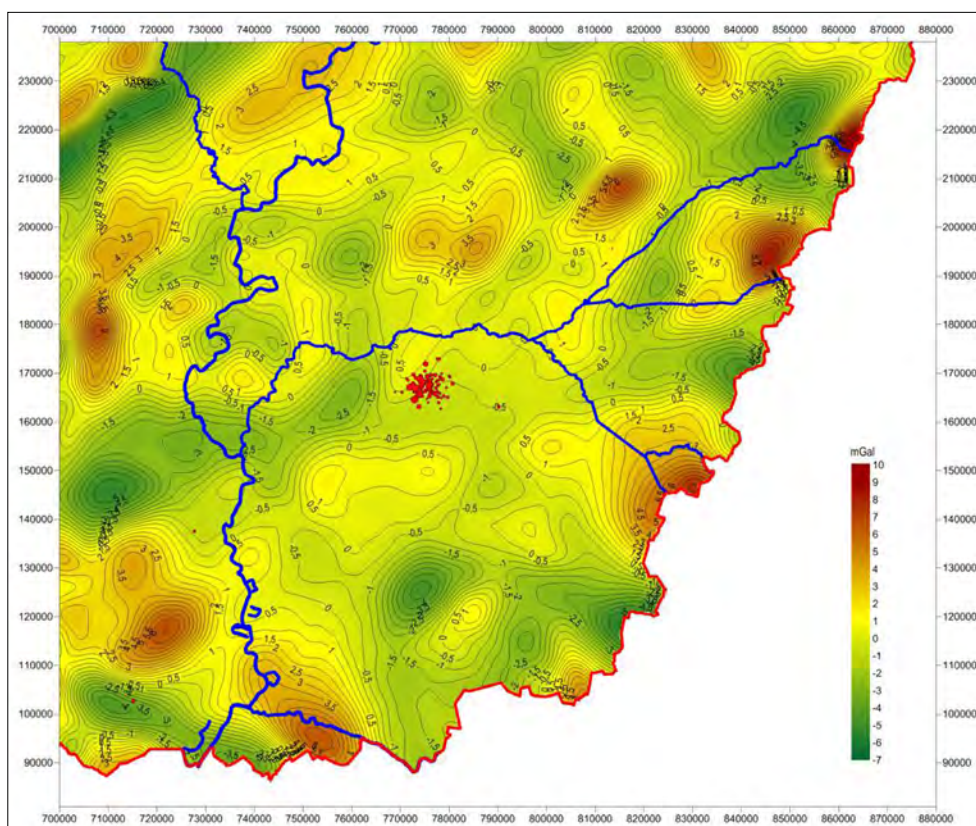
9. ábra Bouguer-anomália-térkép az Alföld DK-i részéről, rajta regionális gravitációs lineamensek (szaggatott fekete vonal) és a földrengések (piros pontokkal)
 Figure 9 Bouguer anomaly map of the SE part of the Great Plain, showing regional gravity lineaments (dashed black line) and earthquakes (with red dots)



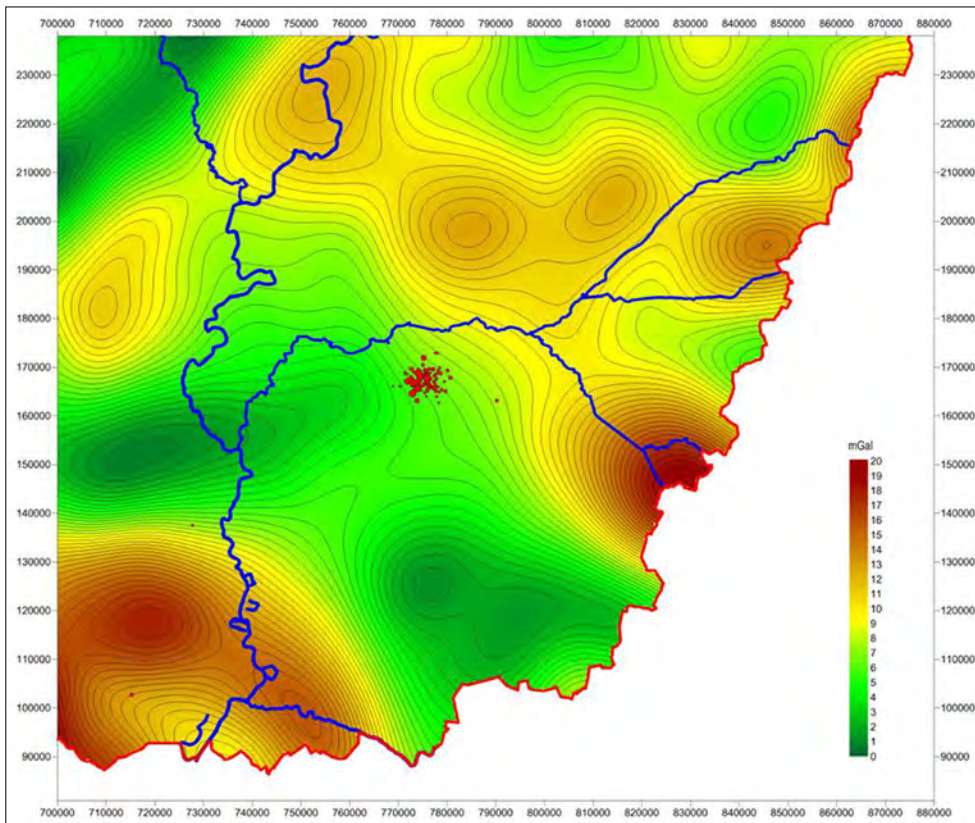
10. ábra Gravitációs adatok spektrális szűrésének eredménye: a 200 m-es spektrális mélység gravitációs hatása
 Figure 10 The result of spectral filtering of gravity data: the gravity effect of the 200 m spectral depth



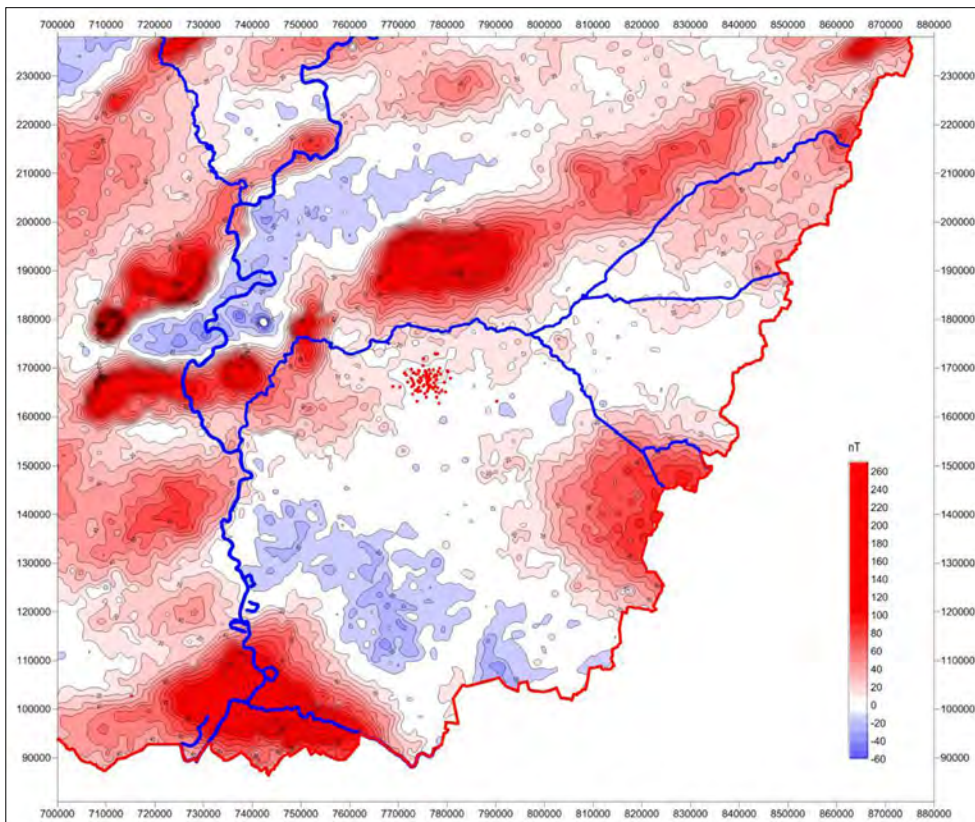
11. ábra | Gravitációs adatok spektrális szűrésének eredménye: az 1300 m-es spektrális mélység gravitációs hatása
 Figure 11 | The result of spectral filtering of gravity data: the gravity effect of the 1300 m spectral depth



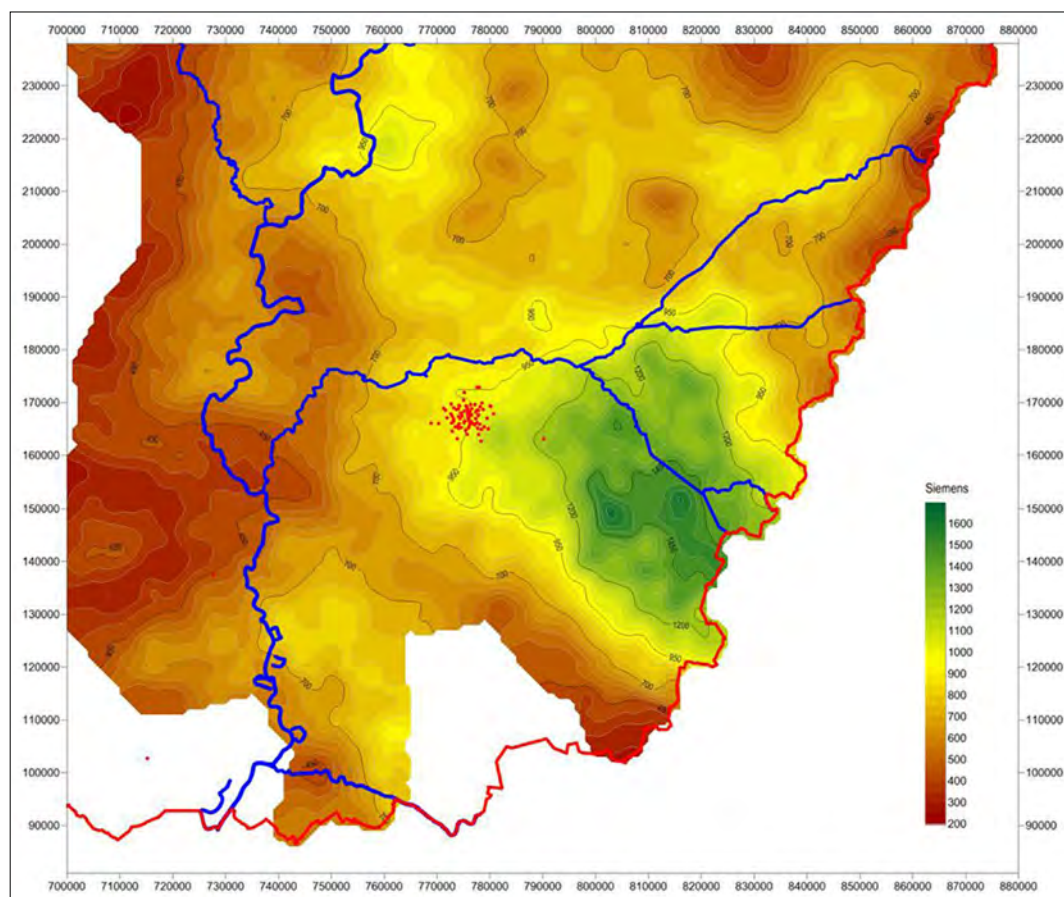
12. ábra | Gravitációs adatok spektrális szűrésének eredménye: a 4500 m-es spektrális mélység gravitációs hatása
 Figure 12 | The result of spectral filtering of gravity data: the gravity effect of the 4500 m spectral depth



13. ábra | Gravitációs adatok spektrális szűrésének eredménye: a 16000 m-es mélység gravitációs hatása
Figure 13 | The result of spectral filtering of gravity data: the gravity effect of the 16000 m spectral depth



14. ábra | Földi mágneses ΔZ anomália-térkép az Alföld DK-i részéről a földrengésekkel (piros pont szimbólumokkal)
Figure 14 | Earth magnetic ΔZ anomaly map of the SE part of the GreatPlain with earthquakes (red dot symbols)



15. ábra | Tellurikus vezetőképességi térkép az Alföld DK-iréséről a földrengésekkel (piros pontokkal) és a nagy vezetőképességű Békési-medencével
Figure 15 | Telluric conductivity map of the SE part of the Alföld with the earthquakes (red dots) and the highly conductive Békési basin

lassan megjelenik az ÉÉNy–DDK-i gravitációs lineamens is.

A 13. ábra térképe a 7000 m-nél mélyebben elhelyezkedő kőzetek gravitációs hatását mutatja, ebben a közel Ny–K-i és az ÉÉNy–DDK-i gravitációs lineamens is jól azonosítható. Az előzetes epicentrummélységek alapján ez a térkép tartalmazza a rengés környezetének gravitációs hatását, azaz az adott földtani környezetre jellemző sűrűségviszonyokat. A térképet vizsgálva ki is rajzolódik, hogy a két regionális (nagy mélységű) gravitációs lineamens (mélyszerkezeti elem) metszéspontjában jelentkeznek a földrengések.

3.2. Mágneses adatok

A földi mágneses ΔZ anomália-térkép a földtani térkép nagyszerkezeti irányával megegyező mágneses anomáliavonulatot mutat DNy–ÉK irányban. E zónától DK-re, a Békési-medence – Battonyai-gerinc közötti mágneses előjelváltás ÉNy-i folytatásában találjuk a földrengéseket (14. ábra). A mágneses anomáliák a Curie-mélység felett megjelenő alsó kéreg bázisosabb – és ezért mágneses anomáliát okozó – képződményeivel lehetnek összefüggésben.

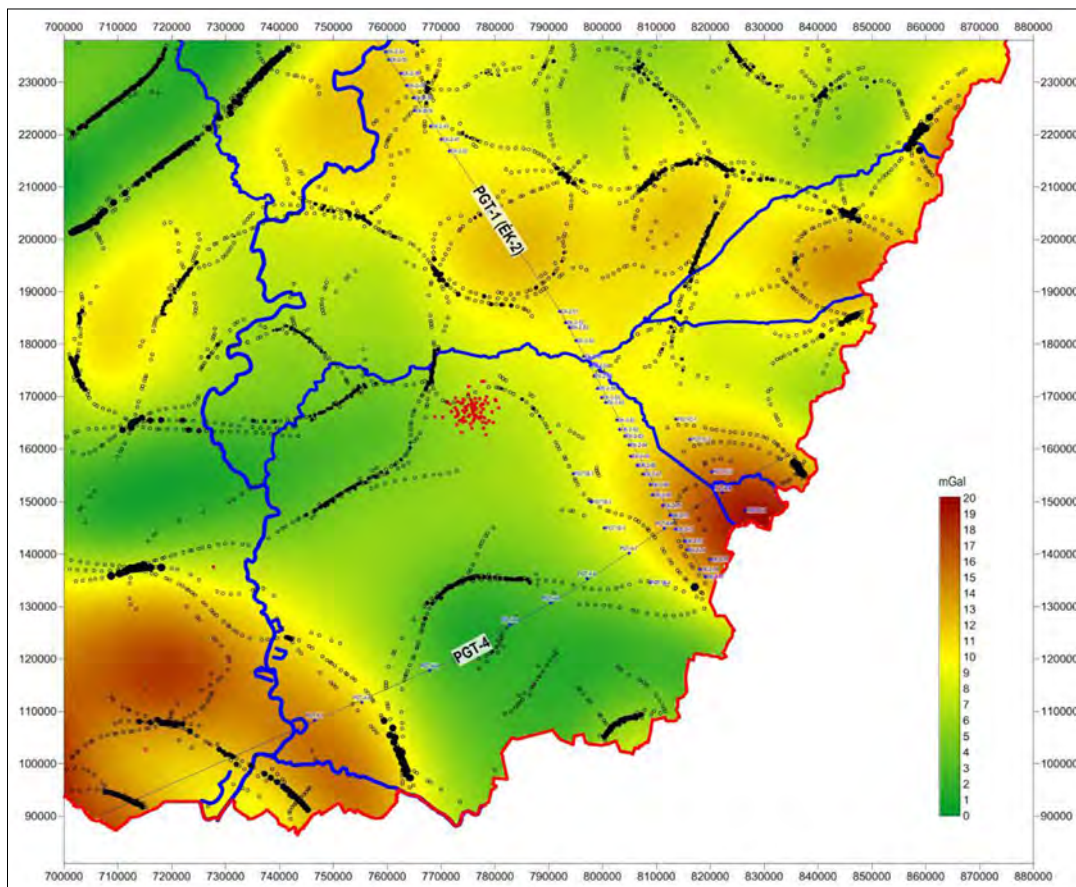
A DNy–ÉK-i irány esetében a szerkezeti zóna mentén kerül a bázisos anyag a Curie-mélység fölé, itt vonalas elrendezésű, míg a Békési-medence esetében a nagyobb sűrűségű alsó kéreg az izosztikus kiegyenlítődési folyamatok miatt kerül kiemelt, Curie-mélység feletti helyzetbe.

3.3. Tellurikus adatok

A tellurikus mérések esetében a szakemberek (Nemesi 2000) tapasztalati úton jöttek rá, hogy kétréteges modellt feltételezve, alul nagy ellenállású medencealjzat, felül jobb vezetőképességű fedőüledék, akkor a fedő összlet vezetőképessége meghatározható, s erre a legalkalmasabb a $T = 25$ s periódusidő jele. Bázispontokon meghatározták más mérésekkel az összegzett vezetőképességet, majd a relatív méréseket bekötve a bázispont adataihoz, vezetőképességi térképet szerkesztettek (Nemesi 2000, Madarasi et al. 2006). DK-Alföld vezetőképességi térképét a 15. ábra mutatja. A rengések itt is a korábban már ismertett szerkezeti irányok találkozásában jelentkeznek.

3.4. Hidrobotanikai adatok

Korábbi évek vizsgálata (Kiss, Szalma 2007) azt mutatta, hogy azokon a helyeken, ahol gravitációs lineamens van



16. ábra A 7 km-nél mélyebb gravitációs hatások anomália-térképe (spektrális szűrésből) a PGT-1 és PGT-4 szelvények nyomvonalával és a magnetotellurikus szondázások pontjaival (kék), valamint a szűrt térkép alapján, objektív úton előállított sűrűség-határfelületekkel

Figure 16 Anomaly map of gravity effects deeper than 7 km (from spectral filtering) with the track of the PGT-1 and PGT-4 sections and the points of the magnetotelluric soundings (blue), and density edge detections based on the filtered map

nak, és felettük disztróf (oxigénhiányos környezetet elviselő) növényi vegetáció található, ott dominánsan a mélybeli vizek feláramlásával kell számolni. Almási és Tóth (2001) megállapították, hogy a mélytörések mentén gyakran lép fel hidrogeológiai kürtőhatás, azaz a túlnyomásos mélységi vizek feljönnek a felszínre, megváltoztatva a felszíni vizek összetételét – megnövelve a sótartalmat és a vizek hőmérsékletét. A disztróf növényi vegetáció a természetben ezeken a helyeken alakul ki. Szarvason ismertek a termásvizek, több helyen – a Körösök mentén is – a disztróf növényi társulások is jelen vannak, és gravitációs lineamentek is átmennek a területen, ami egyértelműen mélytörésekre utal.

4. Szelvény menti geofizikai adatok

A földrengések környezetében két litoszférakutató szeizmikus szelvény is elhaladt, a PGT-1 és a PGT-4 szelvények (Posgay et al. 1996, Kovácsvölgyi 1995, Kiss, Madarasi 2012, Takács et al. 2021). Sajnos egyik sem az epicentrumon ment keresztül, de a regionális értelmezéshez ezek a szelvények is felhasználhatók. A szelvények mentén magnetotellurikus mérések is történtek, és a gravitációs

és mágneses térképező mérésekből mélységmetszetek (Kiss, Vértesy 2020) készíthetők.

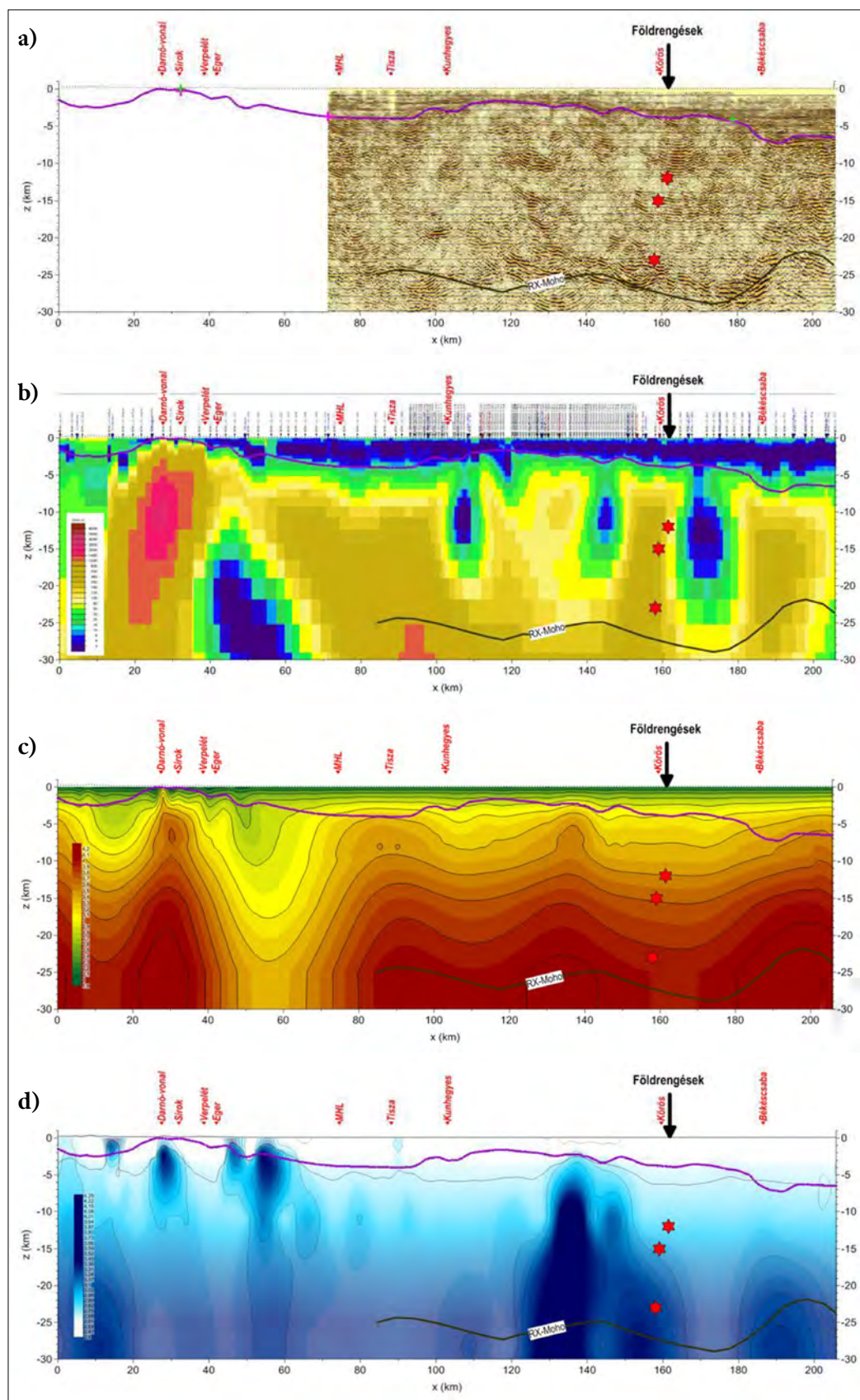
4.1. A PGT-1 szelvény

A PGT-1 szelvény ÉK-re 20 km távolságban van a rengések központjától (8. ábra). A mélység-szelvények közül a szeizmikus reflexiók képben (17a. ábra) vannak olyan reflexiómegszakadások, amelyek kapcsolatba hozhatók a rengések által leírt felülettel (szerkezeti indikáció).

A magnetotellurikus szelvényen (17b. ábra) egyértelműen egy közel függőleges fajlagosellenállás-határfelület található a rengések mentén. A fajlagos ellenállás változása a pórústérben megjelenő fluidummal, a fluidum magas hőmérsékletével vagy magas sókoncentrációjával lehet összefüggésben (fluidumindikáció).

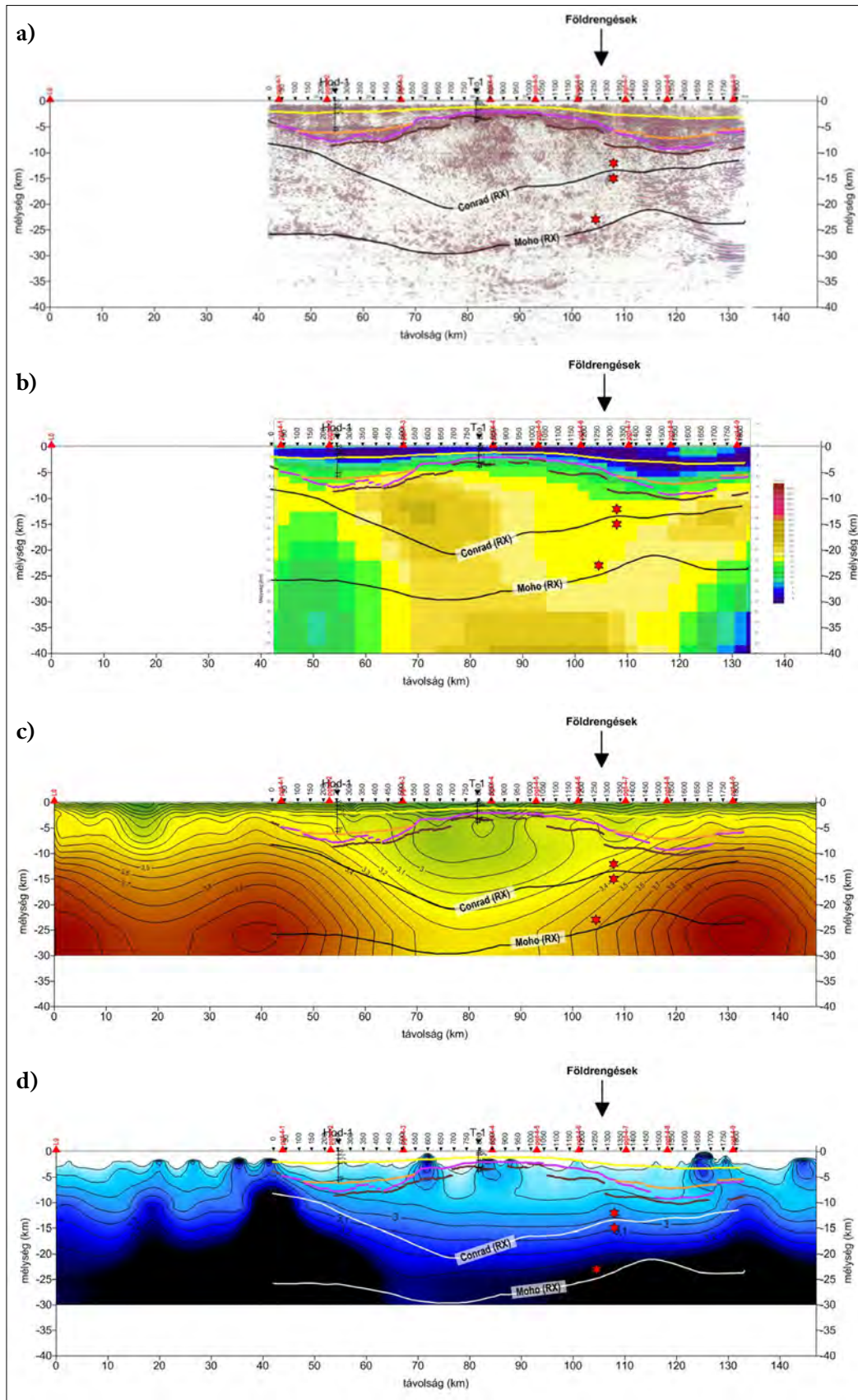
A relatív sűrűség mélységmetszet (17c. ábra) a kristályos kőzetek szintjén árokszerű sűrűségcsökkenést jelez, ami nyírási zónákra utal.

A relatív mágnesezettségi mélységmetszeten (17d. ábra) a rengésektől É-ra mágneses ható található, amely a mély-



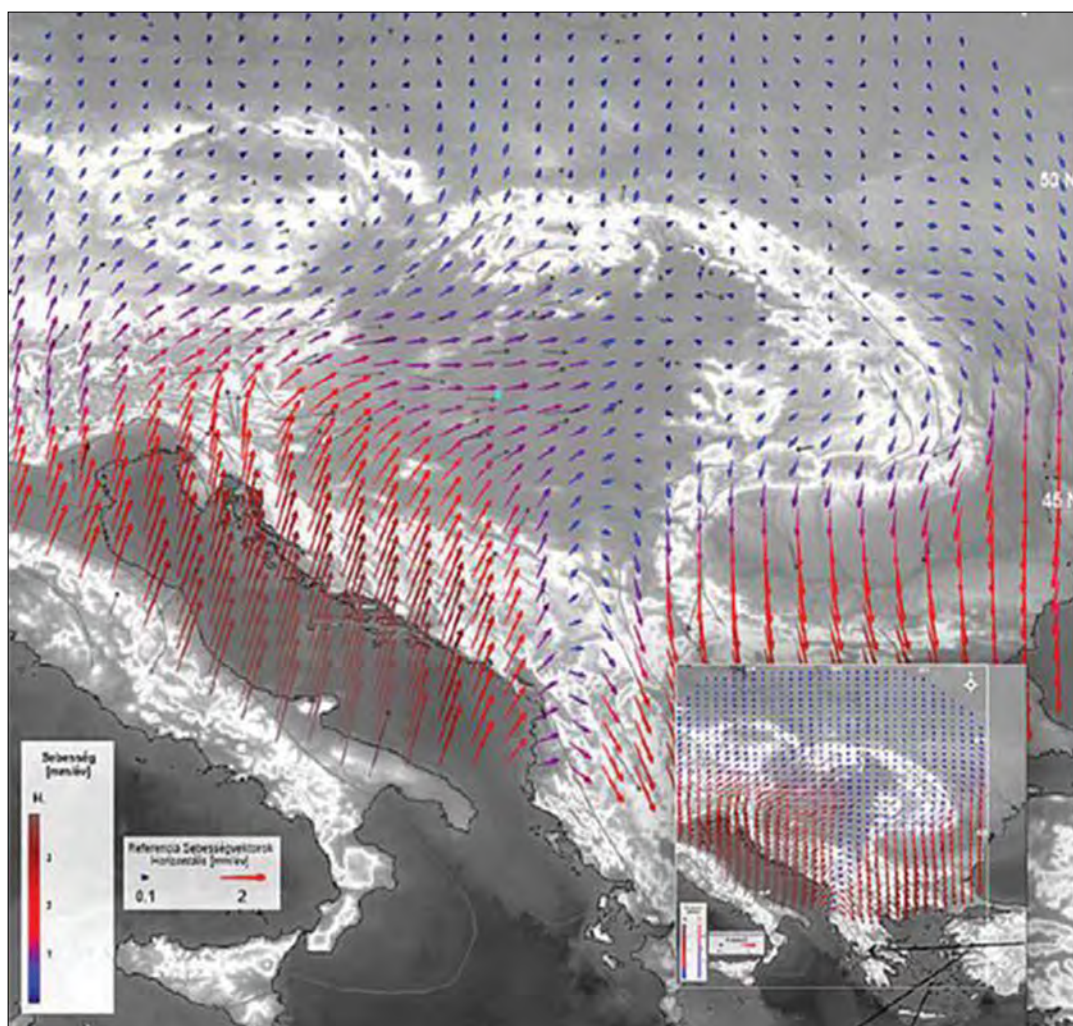
17. ábra Geofizikai paraméter mélységmetszetek a PGT-1 szelvény mentén a hipocentrumokkal. (a) Szeizmikus reflexiók mélységmetszet, (b) magnetotellurikus fajlagosellenállás-mélységmetszet, (c) relatív sűrűség-mélységmetszet, (d) relatív mágnesezettségi mélységmetszet

Figure 17 Geophysical parameter depth sections along the PGT-1 profile with the hypocenters. (a) Seismic reflection depth section, (b) magnetotelluric resistivity depth section, (c) relative density depth section, (d) relative magnetization depth section



18. ábra Geofizikai paraméter-mélységmetszetek a PGT-4 szelvény mentén a hipocentrumokkal. (a) Szeizmikus reflexiók mélységmetszet, (b) magnetotellurikus fajlagosellenállás-mélységmetszet, (c) relatívsűrűség- mélységmetszet, (d) relatív mágnesességi mélységmetszet

Figure 18 Geophysical parameter depth sections along the PGT-4 profile with the hypocenters. (a) Seismic reflection depth section, (b) magnetotelluric resistivity depth section, (c) relative density depth section, (d) relative magnetization depth section



19. ábra | Közép-Európa kéregmozgás-sebességtérképe geodinamikai GPS-mérések alapján (Grenerczy 2014)

Figure 19 | Crustal movement velocity map of Central Europe based on geodynamic GPS measurements (Grenerczy 2014)

ség felé kivastagodik, pereme akár a rengéscsoport széle is lehet. A sűrűség- és mágnesezettségi mélységmetszet a kritikus területészen hasonló jellegzetességet mutat, mint a magnetotellurikus metszet, ami ugyan más geofizikai paraméterrel, de ugyanazon földtani jelenséggel megmagyarázható.

4.2. A PGT-4 szelvény

A PGT-4 szelvény DK-re 36 km távolságra van a rengések központjától (8. ábra). A mélyszeizmikus reflexiós szelvényen (18a. ábra) a rengések felett, már a prekainozoos medencealjzat lefutásában is szerkezeti lépcsőt értelmeztek a szeizmikus kollégák (Takács et al. 1995) 6–9 km mélységben. A rengések ez alatt, de mélyebben jelentkeztek és egy köpenyfelboltozódáshoz is kapcsolódhatnak.

A magnetotellurikus mérések (18b. ábra) a szelvény mentén nagyon kevés mérési pontból állnak, de az előző

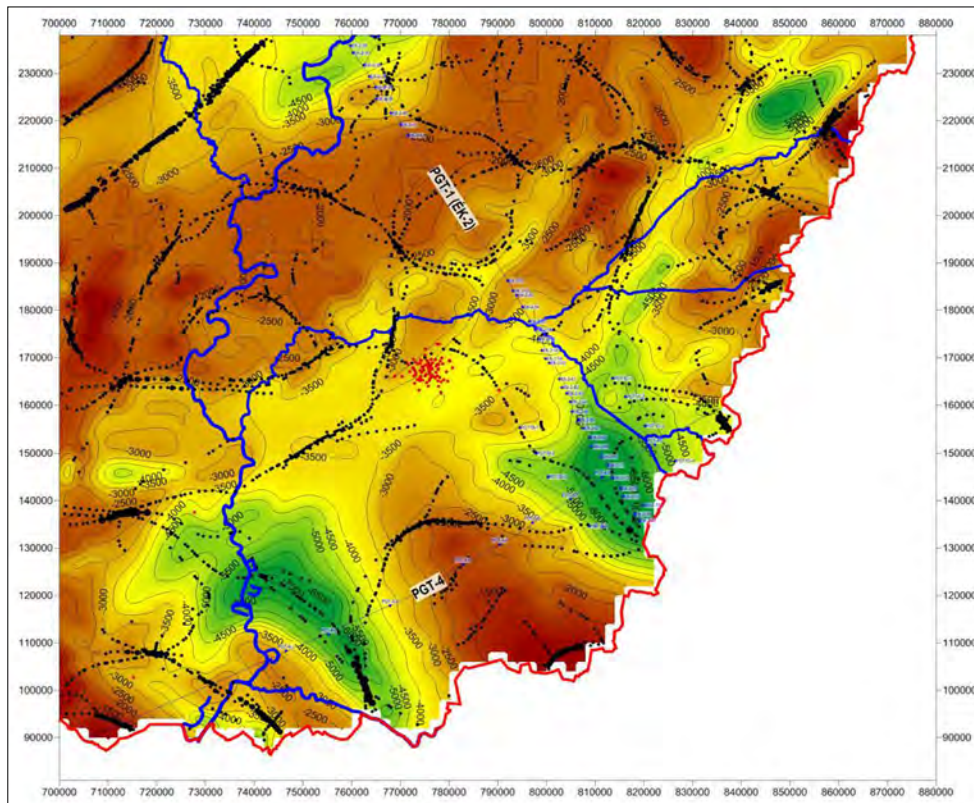
értelmezésnek a fajlagosellenállás-szelvény nem mond ellent.

A relatív sűrűségi mélységmetszeten (18c. ábra) lokális maximum peremén található a rengések, és követik az izovonalak lefutását. A megnövekedett sűrűség alsókéreg- és köpenykiemelkedésekre utalhatnak.

A mágnesezettségi mélységmetszeten (18d. ábra) 15 km mélységtől egészen kb. 7 km-ig kisebb kiemelkedés (alsókéreg- és/vagy köpenydiapír) jelentkezik a rengések mentén.

5. Konklúzió

Ha több hipocentrum-mélységmeghatározás áll majd rendelkezésre, azok megjelenítése segíthet bennünket a pontosabb rengési környezet meghatározásában. A PGT-4 szelvény feldolgozásáról is tervezünk egy publikációt, amelyben a földrengésekhez kapcsolható földtani információk is fontos szerephez juthatnak.



20. ábra | Haas-féle medencealjzat-mélységtérkép (Haas et al. 2010) a mélybeli hatóperemekkel és a rengések helyével (a rengések helyén a medencealjzat-mélysége 3,5 km körüli)

Figure 20 | Haas basement depth map (Haas et al. 2010) with deep margins and earthquake locations (at the location of the earthquakes, the depth of the basement is around 3.5 km)

A területen sok szeizmikus mérést végeztek, azonban azok a mérések nem a litoszféra, hanem szénhidrogén-kutatás céljából lettek lemérve, így a földrengések mélységét sok esetben nem érik el. Más mérésekkel ugyanez a probléma: vagy nagyon ritkán állnak rendelkezésre, vagy az adott mélységet azok az adatok sem érik el.

A rengések mélysége, magnitúdója, a kéregről rendelkezésre álló közvetett geofizikai információk, az eddigi mélyföldtani kutatások eredményei természetes földtani okokra utalnak. Azaz a földrengések mélyföldtani szempontból indokolható helyen jelentkeztek.

6. Geodinamikai vonatkozások

Rengeteg geodinamikai cikk született az évek során, ennek egyfajta összefoglalásaként a Kiss és Zilahi-Sebess (2019) cikk. A cikk a Kárpát-Pannon régió mélyfúrásai és földrengési adataiból meghatározott feszültségtérnek (Bada et al. 2004, Bada et al. 2014), az úrgeodéziai GPS-mérésekből kapott recens lemezmozgásnak (Grenerczy 2000, 2014; 19. ábra), a szeizmológiai mérések által meghatározott gyors hullámterjedési irányoknak (Qorbani et al. 2016) és gravitációs geofizikai mérési eredményeknek (Kiss 2014) a figyelembevételével következtet a térség geodinamikai folyamataira és azok eredetére.

A megfigyelési eredmények alapján azt vizsgáltuk, hogy milyen mozgások és meghajtó erők játszhattak szerepet a Kárpát-Pannon régió kialakulásában. Ezek az erők ma is hatnak, és a földrengések kialakulásának elsődleges okai is lehetnek, ezért ismeretük kisebb területekre nézve is fontos lenne!

7. Epilógus

A rengések környezetében vannak geotermikus termelő kutak (Szarvas, Mezőberény), de azon a környéken van a Fábiansbestyén-4 fúrás is (170–190 fokos gőzt tárt fel 1985-ben), továbbá vannak CH-mezők is már régóta működő termelő kutakkal. Ezek az objektumok azonban nem magyarázzák meg a nagaszaki atomrobbantásnak megfelelő 20 kT energiájú (1. ábra) földrengéseket (durván 6 db rengés sorolható ide, 3. táblázat), amelyek 12–23 km mélységben pattantak ki.

Egy 3,5–4,0-es magnitúdójú rengés csak akkor pattanhat ki 10 km-nél nagyobb mélységben, ha a feszültség azon a mélységszinten jelen van. Kőzetfeszültség (felgyülemlett energia) nélkül az adott mélységben nem lesz rengés, bármi is történik a felszínen. Mivel a feszültség az adott mélységben jelen van, így a rengések kipattanása csak idő kérdése, azaz ma vagy holnap, de mindenképpen megtörtént volna mindenfajta emberi tevékenységtől függetlenül.

Felmerül továbbá a kérdés: hogy a magyarországi ismert rengések hipocentrummélysége miért 10–15 km-es módus értékkel (Tóth, Zsíros 2000) jellemezhető. Véleményem szerint azért, mert ez a mélység a Conrad-felület (felső és alsó kéreg határfelülete) mélysége, amelyet gyakran a Curie-mélységgel is összefüggésbe hozunk. A rideg, savanyú felső kéreg és a rugalmas, bázikus alsó kéreg a fizikai tulajdonságaikból adódó eltérő sebességű (geodinamikai) mozgása a határfelületen feszültséget, esetenként rengéseket okoz.

A tanulmány szerzője

Kiss János

Jegyzetek

¹⁾ A Richter-skála a földrengés erősségének műszeres megfigyelésen alapuló mérőszámát (a Richter-magnitúdót) adja meg. Charles Richter amerikai geofizikus által, a földrengések alkalomával felszabaduló energia mérésére 1935-ben kidolgozott logaritmikus skála. Minden fokozat az előzőnél 32-szer nagyobb energiájú. A magnitúdó a földrengéskor a fészekben felszabaduló energia logaritmusával arányos. Egy 4,5 méretű földrengés kipattanásakor nagyjából akkora energia szabadul fel, mint egy kisebb (20 kilotonnás, nagaszaki méretű) atombomba robbanásakor.

Hivatkozások (időrendben)

Pap S. (1993): Fábiansebestyén – Nagyszénás – Orosháza környékének mélyföldtana. *Földtani Közlöny*, 123/1, 69–98.

Kovácsvölgyi S., (1995): DK-Magyarország gravitációs és földmágneses anomáliáinak értelmezése. *Magyar Geofizika* 36/3, 198–202.

Posgay K., Takács E., Szalay I., Bodoky T., Hegedűs E., Kántor I. J., Tímár Z., Varga G., Bérczi I., Szalay Á., Nagy Z., Pápa A., Hajnal Z., Reilkoff B., Mueller S., Ansoerge J., Iaco R., Asudeh I. (1996): International deep reflectionsurvey along the Hungarian Geotraverse. *Geophysical Transactions*, 10/12, 1–44.

Grenerczy Gy., Kenyeres A., Fejes I. (2000): Present crustal movement and strain distribution in Central Europe inferred from GPS measurements. *J. Geophys. Res.*, 105, 21835–21846.

Grenerczy Gy. (2014): A Pannon-medence első háromdimenziós űrgeodéziai kéregmozgás-térképe (1. rész). *Űr Világ* űrkutatási hírportál (<http://www.urvilag.hu>)

Nemesi L. (ed.), (2000): Telluric map of West-Hungary. *Geophysical Transactions*, 43, p. 298.

Tóth L., Zsíros T., (2000): A pannon-medence szeizmicitása és földrengéskockázata. <http://www.sze.hu/ed/TothZsiros.doc>

Tóth J., Almási I. (2001): Interpretation of observed fluid potential pattern in a deep sedimentary basin under tectonic compression: Hungarian Great Plain, Pannonian Basin. *Geofluids* 1/1, 11–36.

Bada G., Windhoffer G., Szafián P., Dövényi P. (2004): Feszültség-tér Európában és a Pannon-medence térségében: adatok,

modellek és geodinamikai alkalmazások. Budapest, ELTE, Geofizikai Tanszék, p. 118.

Kiss J., Gulyás Á. (2005): Magyarország gravitációs Bouguer-anomália térképe. M=1:500 000-es nyomtatott térképe, ELGI kiadvány

Kiss J. (2006): Magyarország gravitációs lineamens-térképe – első eredmények. *Magyar Geofizika*, 47/2, 1001–1010.

Madarasi A., Nemesi L., Varga G. (2006): Telluric map of East Hungary. *Geophysical Transactions*, 65–98.

Bada G., Horváth F., Dövényi P., Szafián P., Windhoffer G., Cloetingh S. (2007): Present day stress field and tectonic inversion in the Pannonian Basin. *Global and Planetary Change*, 58/1, 165–180.

Kiss J., Szalma E. (2007): Tündérrózsák és a gravitációs tér?! *Magyar Geofizika*, 48/2, 56–69.

Kiss J. (2009): Regionális gravitációs anomáliák, izosztatikus hatások Magyarországon. *Magyar Geofizika*, 50/4, 153–171.

Haas J., Budai T., Csontos L., Fodor L., Konrád Gy. (2010): Magyarország pre-kainozoos földtani térképe, 1:500 000. (Pre-Cenozoic geological map of Hungary, 1:500 000). A Magyar Állami Földtani Intézet kiadványa, Budapest.

Kiss J. (2010): Mély medencék izosztatikus hatása. *Magyar Geofizika*, 51/3, 1–13.

Kiss J., Madarasi A. (2012): A PGT–1 szelvény komplex geofizikai vizsgálata (nem szeizmikus szemmel). *Magyar Geofizika*, 53/1, 29–54.

Kiss J. (2012): A Kárpát-Pannon Régió Bouguer-anomália-térképének frekvenciatartománybeli vizsgálata és értelmezése. *Magyar Geofizika*, 53/ 4, 236–257.

Kiss J. (2014): Magyarország Bouguer-anomália-térképének frekvenciatartománybeli vizsgálata és értelmezése. *Magyar Geofizika*, 55/4, 163–178.

Kiss J. (2014): A Kárpát-Pannon régió gravitációs képe – geodinamikai vonatkozások. pp. 113–126. In: Fancsik Tamás, Piros Olga (eds): Magyar Földtani és Geofizikai Intézet Évi Jelentése 2012–2013, p. 184, MFGI, HU ISSN-0368-9751

Kiss J. (2016): A gravitációs és mágneses anomáliák átfogó értelmezése a Kárpát–Pannon-régióban. *Földtani Közlöny*, 146/3, 275–298.

Qorbani E., Bokelmann G., Kovács I. J., Horváth F., Falus Gy. (2016): Deformation in the Asthenospheric mantle beneath the Carpathian-Pannonian Region. *Journal of Geophysical Researches: Solid Earth*, 121, DOI: 10.1002/2015JB012604.

Kiss J., Zilahi-Sebess L. (2019): Geodinamika a Kárpát-Pannon régióban. *Magyar Geofizika*, 59/4. 180–196.

Kiss J., Vértesy L. (2020): A potenciáltér-anomáliák paraméterfüggősége és spektrális mélységmetsetek. *Magyar Geofizika*, 61/1, 8–18.

Takács E., Jánvári K. I., Kovácsvölgyi S., Süle S., Szalay I., Varga G. (1995): Jelentés a PGT–4/92 jelű szeizmikus szelvény mentén mért komplex geofizikai adatok 1995. évi feldolgozásáról és értelmezéséről. Kézirat, ELGI Adattár

Takács E., Kemény M., Gúthy T., Hegedűs E., Fancsik T. (2021): Rugalmassági paraméterek AVO-inverzióval történő becslése a Moho környezetében – PGT–4 szeizmikus szelvény. *Magyar Geofizika*, 62/1, 73–83.

Függelék Appendix

A prekainozoos földtani térkép magyarázata (Haas et al. 2010)

Explanation of the Pre-Cenozoic geological map (Haas et al. 2010)

Variszkuszi (karbon, perm) metamorfit összlet, gneisz, csillámpala, amfibolit (23)

A Tiszai-főegység prekainozoos aljzatának legidősebb képződményeit számos kristályos aljzatkomplexumba sorolták, melyek elkülönítése elsősorban az ásvány-kőzettani kifejlődésben és a metamorfózis jellegében mutatkozó különbségek alapján történt.

Középső triász sekélytengeri, sziliciklasztos és karbonátos összlet (13)

Az anisusi transzgresszió nyomán a kora-triász szárazulat fölött sekélytengeri rámpa alakult ki, amelyet finomszemcsés terrigén törmelék lerakódása jellemzett (Patacsi Aleurolit). A kora-anisusi további szakaszában szabka környezetben dolomit, dolomárga, agyagkő, aleurolit, anhidrit és gipsz váltakozásából felépülő rétegsor rakódott le (Magyarüregi Evaporit, Hetvehelyi Dolomit). A középső-anisusi és a ladin korszakban a Mecseki- és a Villány-Bihari-egységben karbonátos rámpán zajlott az üledékképződés (Török Á. 1998), a rétegsort sötétszürke mészkőfajták (Vígánvári Mészkő, Lapsi Mészkő, Zuhányai Mészkő) és dolomitosodott karbonátos kőzetek alkotják (Rókahegyi Dolomit, Csukmai Dolomit, Templomhegyi Dolomit). A Békés-Kodruj-egység anisusi-nori rétegsora karbonátos platformon képződött, jelentős részben dolomitosodott kőzetekből áll (Szegedi Dolomit, 13a; Csanádapácai Dolomit, 13b) (Bleahu et al. 1994, Bércziné Makk 1998, Bérczinémakk et al. 2004). A karbonátos rétegsor vastagsága meghaladja a 600 métert.

Alsó-középső jura pelágikus, finom sziliciklasztos összlet (10)

A Kelet-Mecsek területén a pelágikus medence kifejlődésű alsó-jura („foltos márga”) rétegsort homokkő, aleurolit és márga kőzettípusokból felépülő rétegsor (Vasasi és Hosz-

szühetényi Márga, Mecseknádasdi Homokkő, Óbányai Aleurolit, Komlói Mészmárga) alkotja, amely DNy felé ki-vastagodva elérheti a 2000 m-t is (Némedi Varga 1988). A „foltos márga” jelentős vastagságú rétegsora ismert a Mecsektől ÉK-re a Dunántúlon Tolnanémedi környékén, továbbá a Duna-Tisza közének aljzatában Kecskemét-Nagykőrös térségében (Bércziné-Makk 1998).

Alsó kréta bázisos vulkanitok és ezek áthalmazott tengeri üledékei (6)

Az alsó-kréta vulkanitokat (6a) alkálbazalt, trachibazalt, tefrit és fonolit kőzettípusok alkotják (Mecsekjánosi Bazalt). Jellegzetes elváltozásai és megjelenési formái (párnaláva, hialoklasztit) tenger alatti effúzióra utalnak. A vulkánok és a rajtuk kialakult zátonyok lepusztulási törmeléke (Magyaregregyi Konglomerátum, 6b) több száz m vastag (Császár 1998b, 2002). Elterjedésük a Mecseki-egység ÉK-i részén, elsősorban Martfű, Tiszagyenda és Nagy-kőrös-Kecskemét körzetében jelentős.

Senon flis (2)

A campani-maastrichti üledékciklus szög- és eróziós diszkordanciával települ a kristályos aljzatra, vagy idősebb mezozoos képződményekre. Sötétszürke, homokkő és aleurolit váltakozásából, illetve homokkőrétegekkel tagolt kőzetlisztes agyagmárgából álló képződmény (Körösi F.) konglomerátum-betelepülésekkel, alján bázisbreccsával. A Villány-Bihari-zónában a Duna-Tisza köze K-i részén ismert (Mélykút, Kisszállás, Zsana-É, Kiskunmajsa, Gátér), ahol 100–550 m vastagságban tárták fel. Ugyancsak megtalálható a Tiszántúlon, a Körösök vidékén, ahol két kifejlődését különítették el, egy vékonyabb, 100–150 m vastagságú, uralkodóan kőzetlisztes agyagmárga kifejlődésűt és egy vastagabb, 1000 m vastagságot is elérő, homokkő és aleurolit váltakozásából állót (Szentgyörgyi 1989).

Előzetes szerkezeti és litológiai elemzések az archív Lithoprobe Line-4 mélyszeizmikus szelvény mentén – Vancouver-sziget, Kanada

TAKÁCS E.^{1,2,@}, HAJNAL Z.³, GÚTHY T.¹, ANNESLEY I. R.^{3,4}

¹Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága (SZTFH), Földtani Szolgálat
1123 Budapest, Alkotás utca 50.

²Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar
3515 Miskolc-Egyetemváros, A/2 épület, II. emelet

³University of Saskatchewan, Department of Earth Sciences
114 Science Place, Saskatoon, SK, S7N 5E2, Canada

⁴Université de Lorraine, Département de Géologie
34 Cours Léopold, Nancy, Lorraine 54000, France

@E-mail: erno.takacs@sztfh.hu

Az elmúlt évben elvégeztük a Lithoprobe-program keretében Vancouver-szigeten mért Line-4 elnevezésű mélyszeizmikus szelvény (1984) archív adatainak újrafeldolgozását. A kanadai kutatási program aktívan 1984-től 2005-ig tartott. Célja a szárazföld és a határoló kontinentális peremek szerkezetének, összetételének és fejlődéstörténetének háromdimenziós térben történő meghatározása volt az észak-amerikai kontinens teljes szélességén keresztül. A multidiszciplináris program eredményeként eddig több mint 1500 publikáció jelent meg. Az utóbbi időben felvetődött, hogy az archív adatokat (Kanadai Geológiai Szolgálat) újszerű kvalitatív és kvantitatív feldolgozási eljárásokkal ismét feldolgozzuk. Tanulmányunkban a Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága, Földtani Szolgálatát által elért első eredményeinket mutatjuk be, amelyek egy nemzetközi kutatási együttműködés első lépéseit jelentik.

Takács, E., Hajnal, Z., Gúthy, T., Annesley I. R.: Preliminary structural and lithological studies along the archive Lithoprobe Line-4 deep seismic profile – Vancouver Island, Canada

Last year we reprocessed archive data from the Line-4 (1984) deep seismic section shot on Vancouver Island, which was acquired as part of the Lithoprobe program. The Canadian research program ran from 1984 to 2005. Its objective was to determine the structural, compositional and evolutionary history of the mainland and its adjacent continental margins in 3D space over the entire width of the North American continent. The multidisciplinary program has resulted more than 1500 publications up to now. Recently, the idea was raised to reprocess the archive data (Canadian Geological Survey) using novel qualitative and quantitative processing techniques. In our study, we present the first results of our work at the Geological Survey of Supervisory Authority for Regulatory Affairs (Hungary), which represent the first steps of international research collaboration.

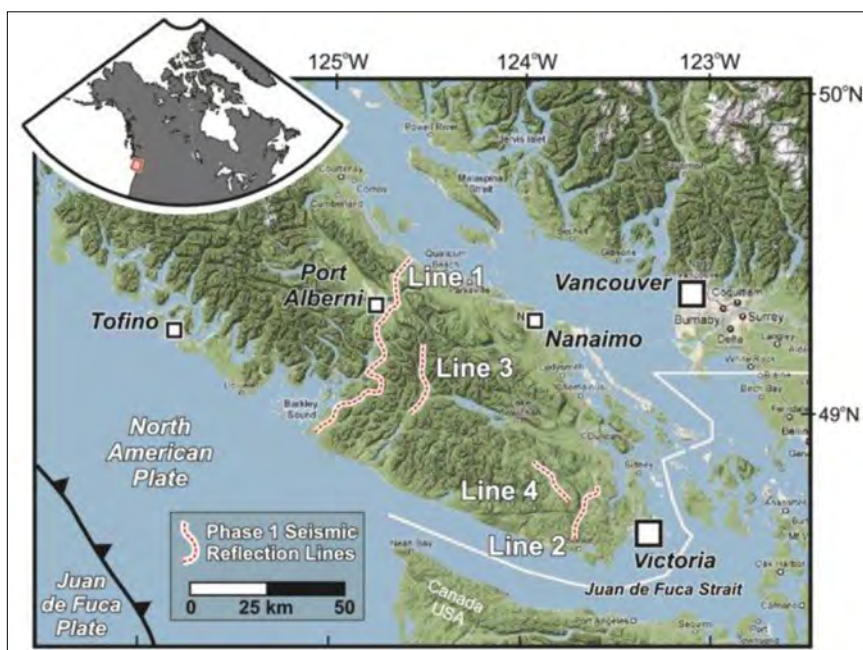
Beérkezett: 2024. május 3.; *elfogadva:* 2024. szeptember 2.

1. Bevezetés

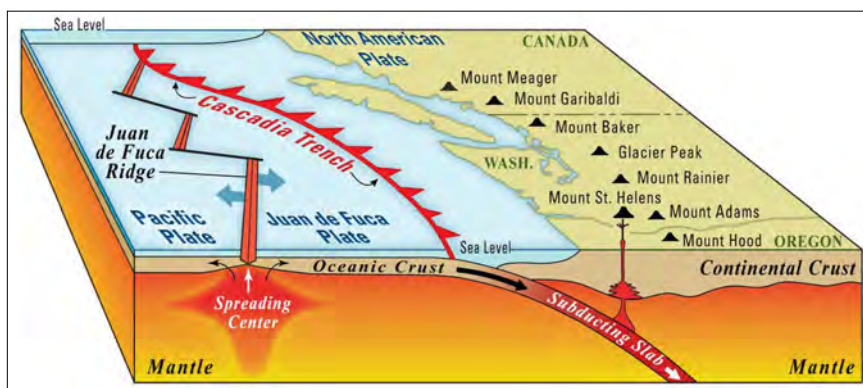
A kanadai Vancouver-szigeten négy mélyszeizmikus szelvényt mértek a Lithoprobe-program keretében (1. ábra), amelyek segítségével 1985-ben látványosan leképezték a csendes-óceáni és a szárazföldi kéreglemez alábukási zónáját. A szigeten mért szelvények közül a Line-4 jelű jól mutatja a Juan de Fuca óceáni kéreglemez É-amerikai kontinentális lemez alá bukása (2. ábra) következtében kialakult Leach River Fault (LRF) mestervetőt is (Green et al. 1985, 1986, Clowes 2010). Nemrég felkérést kaptunk a kanadai Saskatchewan Egyetemről a mélyszeizmikus adatok újszerű algoritmusokkal történő újrafeldolgozására. Mivel úgy gondoltuk, hogy az újrafeldolgozás során nyert tapasztalatok megtérülhetnek a Kárpát-medence még összetettebb mélyföldtani viszonyainak tisztázásához, kipróbáltunk két

olyan adatfeldolgozási eljárást, amelyek lehetővé tették az archív adatok korábbiaknál magasabb jel/zaj viszonyú és litológiai szempontból is értelmezhető megjelenítéseit. Tanulmányunkban mindazokat az eddig elért eredményeket mutatjuk be, amelyeket a CRS (Common Reflection Surface) és az AVO (Amplitude Versus Offset) adatfeldolgozási eljárások alkalmazásával értünk el.

A Line-4 jelű mélyszeizmikus adatok reflexiók felvételezése a Lithoprobe program legelső fázisában, 1984-ben történt. A vibroseis rezgéskeltéssel mért szelvény földrajzi hossza kb. 22 km, a korrelált felvételek teljes hossza pedig 16 s volt. A fellelhető terepi mérési dokumentáció sajnos nem volt teljes, ezért az újrafeldolgozáshoz szükséges geometriai leírások pontosítása a rendelkezésre álló egyéb általános információkból és az egyes terepi felvételek első beérkezéseinek szimmetriája, aszimmetriája alapján tör-



1. ábra Vancouver sziget DK-i részének topográfiai térképe a négy Lithoprobe szelvény helyének feltüntetésével (Clowes 2010)
 Figure 1 Topographic map of the SE part of Vancouver Island showing the location of the four Lithoprobe sections (Clowes 2010)



2. ábra A Juan de Fuca óceáni kéreglemez É-amerikai kontinentális lemez alábukása (<https://www.usgs.gov/media/images/subduction-juan-de-fuca-plate-beneath-north-american-plate>)
 Figure 2 The Juan de Fuca oceanic crustal plate collapsing under the North American continental plate (<https://www.usgs.gov/media/images/subduction-juan-de-fuca-plate-beneath-north-american-plate>)

tént. Így gyakorlatilag az egyedi felvételekből következtetünk a terepi geometriára. Mivel az eredeti szelvényhez nagyon hasonló (azonban jobb minőségű) szelvényt állítottunk elő, feltételezzük, hogy a kialakított geometriai leírás a ténylegestől csak minimális mértékben térhet el.

2. Az archív mélyszeizmikus adatok előfeldolgozása

A szeizmikus terepi adatok előfeldolgozása során amplitúdóhű adatfeldolgozást hajtottunk végre. Igyekeztünk helyreállítani a reflexiók beérkezések relatív amplitúdóit, és kerültük mindazon műveleteket, amelyek torzítják azokat (automatikus erősítésszabályozás, teljes csatornaki-egyenlítés, többszörös jel/zaj viszonyok javítása). Erre azért volt szükség, mert végső célkitűzésünk olyan inverziós algoritmusok kipróbálása volt, amelyek a reflexiók amplitúdók változásai alapján eredményeznek litológiailag kiértékelhető kőzetfizikai modelleket (AVO-inverzió és Simultaneous Model-based inverzió). A szeizmikus előfeldolgozás lépéseit az 1. táblázatban közöljük.

1. táblázat Az archív terepi mélyszeizmikus adatok amplitúdóhű előfeldolgozásának lépései
Table 1 Steps in true amplitude preprocessing of archival field deep seismic data

Sorszám	Feldolgozási műveletek
1.	Geometria leírás
2.	Csatornaszerkesztések (KILL, MUTE)
3.	Valódi amplitúdóhelyreállítás (TAR)
4.	Felszínkonzisztens amplitúdókiegyenlítés
5.	Felszínkonzisztens dekonvolúció
6.	Frekvencia-sávszűrés (5–8–40–45 Hz)
7.	Sebességmeghatározás (Velocity Spectra)
8.	Normál Moveout korrekció (NMO)
9.	Domborzati statikus korrekció
10.	Időben változó statikus javítás (TRIM)
11.	Sebességmeghatározás (Velocity Spectra)
12.	Normál Moveout korrekció (NMO)
13.	Hagyományos CDP szerinti összegzés
14.	Kirchhoff-féle időtartománybeli migráció
15.	Frekvencia-sávszűrés (5–8–40–45 Hz)

A lehetőség szerinti részletes sebességmeghatározás fontos eleme volt a feldolgozási folyamatnak egyrészt azért, mert ez a reflexiók adatfeldolgozása egyik alapvető művelete. Másrészt pedig Késmárky és Hajnal (1991) korábbi sebességvizsgálataik alapján csökkent P-hullám-sebességű zónákat mutattak ki a Line-1 jelű szelvény mentén, a földkéreg mélyebb tartományában (4 és 8 s TWT környezetében). Jelenlegi feldolgozásunk egyik célja annak vizsgálata volt, hogy hasonló intervallumsebesség-anomáliák a Line-4 jelű szelvény hasonló mélység tartományában is észlelhetők-e? Ennek a kérdésnek az a gyakorla-

ti jelentősége, hogy az ilyen zónák *fluid tartalomra és/vagy serpentinites zónákra utalhatnak, amelyek jelentős szerepet játszanak a szubdukciós folyamatokban* (Watanabe et al. 2007, Pagé, Hattori 2017).

3. A CRS szerinti összegzés és az AVO-inverzió alapjai

Az alábbiakban röviden összefoglaljuk a tanulmányban alkalmazott újszerű szeizmikus adatfeldolgozási eljárások elméleti és gyakorlati hátterét. Arra törekedtünk, hogy a szerteágazó szakirodalmi hivatkozások közül csak azokat jelöljük meg, amelyek a leginkább követhetővé teszik ezt az áttekintést.

3.1. A közös reflexiók felület (Common Reflection Surface) szerinti összegzés

Az eljárást az 1990-es évek végén olyan bonyolult felépítésű földtani szerkezetek szeizmikus leképezésére dolgozták ki, amelyekre a hagyományos közös mélységpont (CDP) szerinti összegzés nem adhat kellően pontos képet. Ennek oka, hogy *nagyobb dőlésű (vagy gyúrt) határfelületek esetén a szeizmikus hullámok nem egy-egy pontról (CDP), hanem elemi felületekről (CRS) verődnek vissza, ami azonban figyelembe vehető az egyedi csatornák összegzésekor* (Mann et al. 1999, Jäger et al. 2001).

A reflektált hullámok menetidőinek kiszámításához a CRS-eljárás három hullámtér-attribútumot alkalmaz, amelyeket geometriai optikai alapon határoztak meg. Mindhárom attribútum a hullámfrontokkal van összefüggésben (Bazelaire et al. 1999, Menyoli et al. 2004). Ezek a „nulla-ofszetű sugár” felszíni beérkezési szöge, a „normál beesési pont (NIP) hullám” frontjának a görbülete és a „normál (N) hullám” frontjának a görbülete. A fenti sugárelmélet matematikailag az alábbi formában adható meg a reflektált P-hullámok beérkezéseire (Mandal et al. 2014):

$$t^2(x_m, P) \approx \left(t_0 + \frac{2 \sin \alpha_0}{v_0} (x_m - x_0) \right)^2 + \frac{2 t_0 \cos^2 \alpha_0}{v_0} \left(\frac{(x_m - x_0)^2}{R_N} + \frac{h^2}{R_{NIP}} \right),$$

ahol t a menetidő, t_0 a „nulla-ofszetű menetidő”, x_0 a „nulla-ofszetű sugár” beérkezési helye a felszínen, h a féltávolság a forrás és a vevő között, x_m a középpont koordinátája és v_0 a felszínközeli sebesség (Kiss, Takács 2021). Az α_0 , R_{NIP} és R_N paraméterek a fentiekben megnevezett CRS-attribútumokat jelentik.

Minden CRS összegszelvény előállításához először egy megfelelő jel/zaj viszonyú modellszelvényt kell előállítani a hagyományos CDP szerinti összegzéssel. E „pilot” szelvény alapján történik a reflexiók dőlésének meghatározása, változó meredekségű egyeneseket illetve az összegszelvény minden mintavételi helyén automatikus koherencia-

analízist alkalmazva. A dőlésmeghatározás jelentősége egyrészt az, hogy a dőlt (vagy görbült) reflektorokon meg lehet határozni a „normál beesési pontok (NIP)” visszaverődési helyét és a „nulla-ofszetű sugár” felszíni beérkezési szögének α_0 értékekét. Másrészt pedig a dőlésértékeket a későbbi CRS-összegzés előtt figyelembe lehet venni az NMO-korrekció (valójában DMO-korrekció) végrehajtásakor. A hullámfront görbületek (R_{NIP} és R_N) szintén automatikus koherenciaanalízissel számíthatók, a fenti egyenlet szerinti analitikus menetidőgörbéket illetve az összegzés előtti csatorna gyűjteményekre.

Az újszerű összegzési eljárásnak több előnye is van szerkezetileg bonyolult földtani viszonyok esetén (Kiss, Takács 2021). Egyrészt magasabb jel/zaj viszony érhető el a hagyományos CDP-összegzéshez képest, mivel olyan mélységgel változó sugarú elemi felületeket használ az egyedi csatornák összegzéséhez, amelyek több reflexiós pontot foglalnak magukban, mint a horizontális közeli visszaverő felületekre kidolgozott CDP-összegzési eljárás. Ez a tesztek alapján meghatározott kritikus paraméterfüggvény (TWT-keresési sugár) határozza meg, hogy a különböző mélységekben milyen sugarú távolságon belül történik az összegzés. Másrészt pedig a reflektáló felületeket pontosabb geometriával lehet leképezni, mivel a CRS algoritmus figyelembe veszi a meredek reflektorok dőlését is. Az eljárás lényegét Yilmaz (1999) nagyon szemléletesen foglalta össze egy rövid ajánlásában nagyon találó címmel: „When Reflections are not Hyperbolas and Reflectors are not Points”.

Mindezek mellett megjegyezzük, hogy a CRS-összegzés alkalmazása gyakorlatilag két adatfeldolgozási gráf végrehajtását igényli. Először el kell végezni egy hagyományos CDP szerinti adatfeldolgozást, azután pedig a CRS összegzéshez szükséges további speciális műveleteket.

3.2. Az észlelési távolságtól függő amplitúdók (Amplitude Versus Offset) analízise

Az észlelési távolságtól (vagy beesési szögtől) függő AVO- (AVA-) analízis kőzetfizikai, matematikai és gyakorlati alapjaiba Chopra és Castagna (2014) nyújt részletes betekintést. A módszer az összegzés előtti reflexiós amplitúdók beesési szög szerinti inverzióján alapszik. Egy szeizmikus határfelületre beeső P-hullám esetén ugyanis a határfelületen keletkező visszavert és átmenő P- és S-hullámok amplitúdóját, azaz a reflexiós és transzmissziós koefficienseket matematikailag a Zoeppritz-féle (1919) mátrixegyenlet írja le a 0° – 90° szögtartományban. A gyakorlatban a mátrixegyenlet többféle egyszerűsítését alkalmazzák az inverzió elvégzésekor. A legnépszerűbbek az Aki-Richards- és a Shuey-féle közelítések (Richards és Frasier 1976, Shuey 1985). Ezek a közelítések megfelelőek a beesési szögeknek abban a tartományában, melyet egy szokásos felszíni szeizmikus felmérés során észlelünk. Shuey (1985) megközelítése szerint a P-hullám reflexiós koefficiensek lineáris függvénnyel írhatók le a 0° – 30° közötti tartományban a beesési szög szinusz négyzetének függvényében, és

az egyenes meghatározza a két alapvető AVO-attribútumot, amelyek a tengelymetszet (A) és a meredekség (B):

$$R(\theta) = A + B \sin^2 \theta,$$

ahol

$$A = \frac{1}{2} \frac{\Delta(\rho\alpha)}{(\rho\alpha)}$$

és

$$B = \left(\frac{1}{2} \frac{\Delta\alpha}{\alpha} - 4 \frac{\beta^2}{\alpha^2} \frac{\Delta\beta}{\beta} - 2 \frac{\beta^2}{\alpha^2} \frac{\Delta\rho}{\rho} \right),$$

illetve θ a beesési szög, α és β a P- és S-hullám sebessége, ρ pedig a kőzetek sűrűsége. Ez a két AVO-attribútum egyenes illesztésével kiszámítható az összegzés előtti CDP-gyűjtemények minden egyes mintavételi helyén a reflektált amplitúdók $\sin^2 \theta$ függvényében történő megjelenítésével (lásd még Takács 1996).

Az alapvető AVO-attribútumokat ritkán alkalmazzák önmagukban, mivel közvetlenebb kőzetfizikai tartalommal rendelkező és litológiai szempontból is informatívabb paraméterek származtathatók belőlük. A szénhidrogén-kutatásban az úgynevezett „skalázott Poisson-tényező-változás” az egyik legelterjedtebben használt indikátor a porózus földtani formációk kimutatására az összegzés előtti szeizmikus adatok alapján. Hilterman (1990) levezetése a Shuey-féle közelítésen alapul. Rámutatott arra, hogy ha a háttér Poisson-tényezőt (σ) $1/3$ -nak tételezzük fel, ami átlagosan megfelel a $V_p/V_s = 2$ értéknek, akkor az $A + B$ összeg arányos a Poisson-tényező relatív változásával ($\Delta\sigma$):

$$A + B = \frac{9}{4} \Delta\sigma.$$

Másként fogalmazva, a Poisson-tényező relatív változásai kiszámíthatók az alapvető AVO-attribútumokból, legalábbis a 0 – 30° beesési szögtartományban:

$$\Delta\sigma \sim A + B.$$

Megjegyezzük, hogy bár az AVO-analízis és -inverzió módszerét a szénhidrogén-kutatás céljára fejlesztették ki (Ostrander 1984), meggyőződésünk szerint az eljárás körültekintő alkalmazása több más kutatási területen is megtérülhet, mint például a mélyszerkezet- és a geotermikus kutatás (Takács et al. 2021, Masri, Takács 2022, 2023).

4. Az elért eredmények

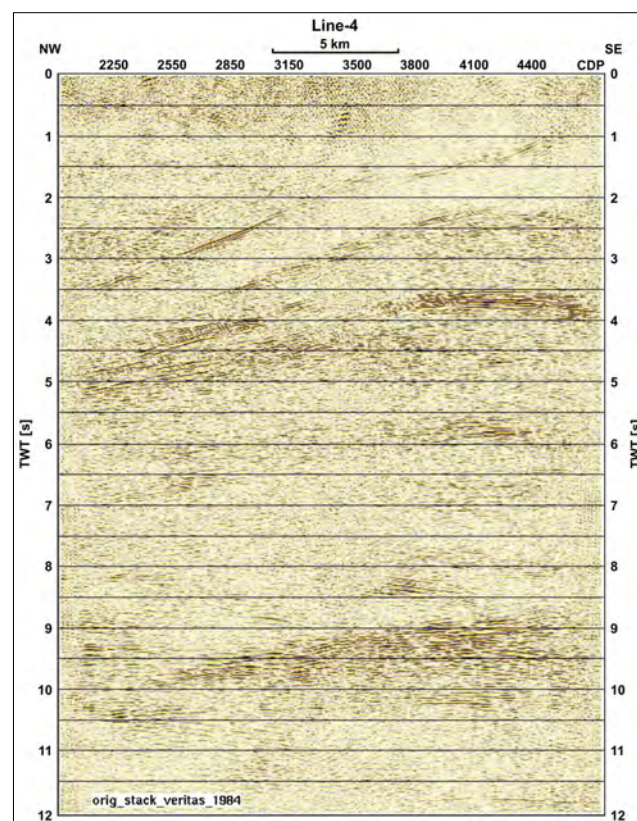
Ebben a fejezetben bemutatjuk mindazokat az eredményeket, amelyeket a fentiekben tárgyalt kvalitatív és kvantitatív adatfeldolgozási eljárások alkalmazásával értünk el az archív Lithoprobe Line-4 (1984) mélyszeizmikus adatok jelenlegi újrafeldolgozásával. A későbbiek szempontjából is érdemes itt felhívni a figyelmet arra, hogy a *Line-4 szelvény iránya közel merőleges a Juan de Fuca lemez elmozdulási irányára (1. ábra)*. Emiatt az alábukó lemez valódi, meredekebb dőlése csak sokkal kisebb látszólagos dőléssel jelenik meg e szelvény vertikális metszetében. A szel-

vény orientációjával kapcsolatban szintén fontos megjegyezni, hogy a bemutatott összes változat nagyobb CDP-számokkal jelzett oldala mutat ÉNy felé, a másik pedig DK felé (kisebb CDP számok).

4.1. CRS (Common Reflection Surface) szerinti összegzés

A Lithoprobe-program keretében mért Line-4 elnevezésű mélyszeizmikus szelvény adatainak CRS újrafeldolgozásával az volt a célunk, hogy az eddigieknél tisztább szerkezeti képet kapjunk az É-amerikai kontinentális lemez alá bukó Juan de Fuca óceáni lemezről, valamint a felette kialakult földtani formációkról. Ilyen értelemben először egy kvalitatív újrafeldolgozást hajtottunk végre az archív adatokon. A Vancouver-szigeten mért szelvények adatainak eredeti feldolgozást a Veritas Ltd. végezte el 1984-ben, és olyan összegszelvényeket állítottak elő, amelyek ráirányították a figyelmet a szubdukciós zóna nagyobb energiájú reflexióira (Green et al. 1985, 1986). Az akkori eszközökkel azonban nem sikerült értelmezhető migrált változatokat készíteni, és nem készült amplitúdóhű feldolgozás sem a világviszonylatban is érdeklődésre számot tartó adatok felhasználásával. Először az utóbbi hiányosságot pótoltuk a 2. fejezetben tárgyalt előfeldolgozás során, egyelőre csak a Line-4 mélyszeizmikus szelvény mentén. Célkitűzésünk egy olyan, két lépésből álló módszertani eljárás kidolgozása volt, amelyet később alkalmazhatunk a többi szelvény archív adataira is egy kvázi térbeli szerkezeti és litológiai kép kialakítására. Az eredeti (Veritas, 1984) Line-4 összegszelvényt a 3. ábrán mutatjuk be későbbi összehasonlítás céljából, utána pedig a CRS szerinti újrafeldolgozásunk eredményeit közöljük. Megjegyezzük, hogy az archív és az újrafeldolgozott szelvények CDP-számozása a terepi geometria újbóli felépítése miatt eltérő. A terepi észlelési rendszer újraépítésének szükségességére a *Bevezetés* végén már utaltunk.

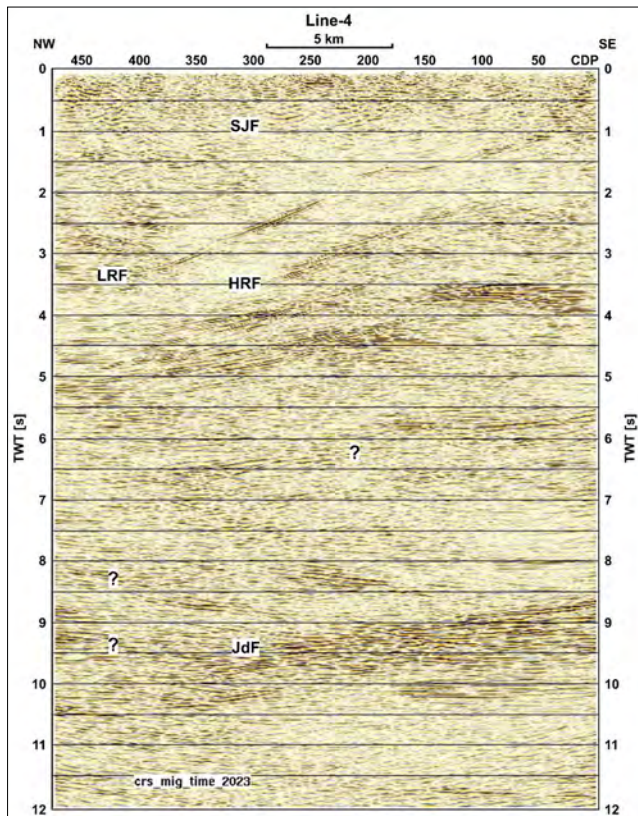
A CRS szerinti összegzés első kritikus paraméterének (dőléstáblázat) kiszámításhoz modellszelvényként a hagyományos CDP-feldolgozás eredményeként előállított migrált összegszelvényt használtuk. A másik kritikus paraméter (a mélységgel változó keresési sugár) meghatározásához pedig a Fresnel-zóna értékeiből indultunk ki. Koráb-



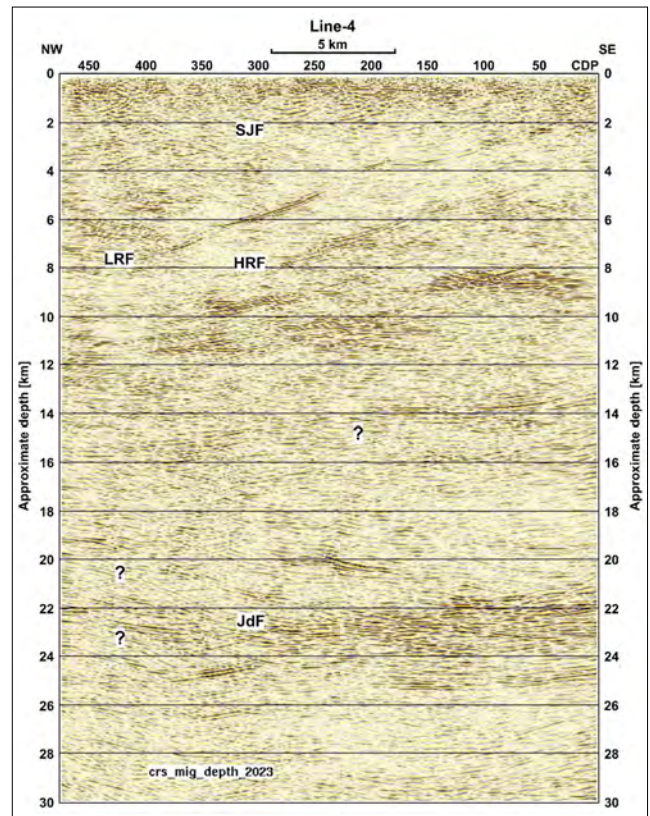
3. ábra A Veritas Ltd. által 1984-ben készített Line-4 végleges összegszelvény (a Kanadai Geológiai Szolgálat szíveségéből)
 Figure 3 The Line-4 final stack processed by Veritas Ltd. in 1984 (courtesy of Geological Survey of Canada)

2. táblázat A CRS szerinti adatfeldolgozás lépései
 Table 2 Steps of data processing according to the CRS

Adatok és feldolgozási műveletek	Megjegyzés
Modellszelvény (hagyományos CDP szerinti migrált összegszelvény)	Bemenő adatok
1. AGC 1000 ms időablakkal	
2. Dőlésszámítás	Adatfeldolgozási műveletek
3. AGC (1000 ms) eltávolítás	
Dőlés és Semblance-együttható táblázatok	Kimenő adatok
CDP előfeldolgozás során nyert csatornagyűjtemények NMO-korrekció nélkül, RMS sebességtér és dőléstáblázatok	Bemenő adatok
4. CRS szerinti összegzés	
5. Frekvenciaszűrés (5–8–40–45 Hz)	Adatfeldolgozási műveletek
6. Összegzés utáni Kirchhoff-féle idő- és mélységmigráció	
Migrált CRS szerinti összegszelvény idő- és mélységtartományban	Kimenő végleges adatok



4. ábra A CRS összszelvény Kirchhoff-féle időmigrált változata (0–12 s): JdF – Juan de Fuca lemez, HRF – Hurricane Ridge vető, LRF – Leach River vető, SJF – San Juan vetőzóna
Figure 4 CRS stack after Kirchhoff time-migration (0–12 s): JdF – Juan de Fuca Plate, HRF – Hurricane Ridge Fault, LRF – Leach River Fault, SJF – San Juan Fault (Zone)



5. ábra A CRS összszelvény Kirchhoff-féle mélység-migrált változata hozzávetőleges mélységskálával (0–30 km): JdF – Juan de Fuca lemez, HRF – Hurricane Ridge vető, LRF – Leach River vető, SJF – San Juan vetőzóna
Figure 5 CRS stack after Kirchhoff depth-migration with approximate depth scale (0–30 km): JdF – Juan de Fuca Plate, HRF – Hurricane Ridge Fault, LRF – Leach River Fault, SJF – San Juan Fault (Zone)

bi tapasztalatainkhoz hasonlóan ezeket a számított értékeket csökkenteni kellett, elkerülendő a túlságosan kevert (simított) képet. A CRS-összegzéssel kapott végleges szelvényen Kirchhoff-féle idő- és mélységtartománybeli migrációt hajtottunk végre. A teljes CRS adatfeldolgozási folyamatot a 2. táblázatban foglaljuk össze.

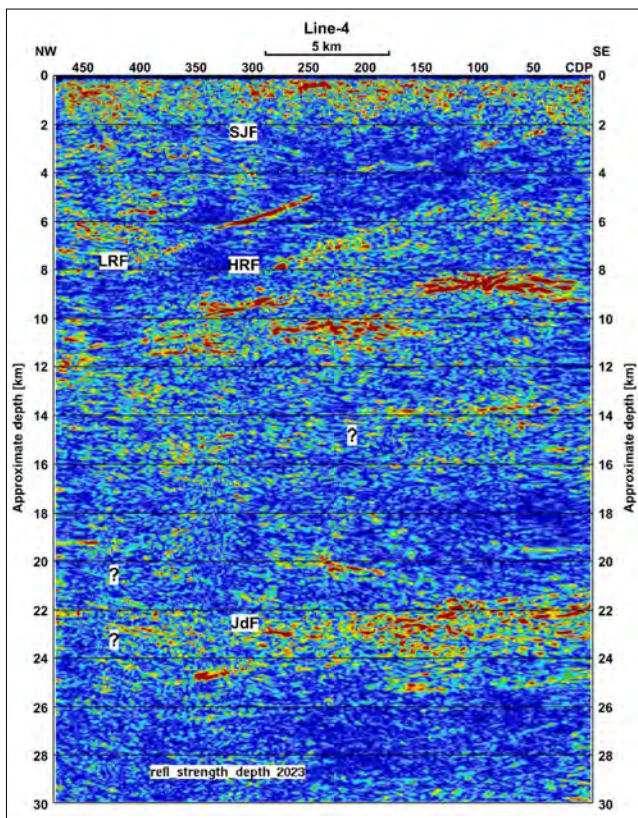
A fenti adatfeldolgozási folyamat végeredményeit, azaz a CRS összszelvény idő- és mélységmigrált változatait a 4. és 5. ábrán mutatjuk be. A 6. ábrán a mélység-szelvény Hilbert-transzformációval készült reflexióerősség változata látható (Taner et al. 1979). Megjegyezzük, hogy a feltüntetett mélységskála hozzávetőleges, mivel a földkéreg mélyebb tartományaiban a hagyományos (RMS) reflexiós sebesség meghatározása bizonytalan. A tanulmányunkban közölt mélység-szelvények azonban így is megfelelő rálátást nyújtanak a hozzávetőleges mélységviszonyokra. A szelvények szerkezeti és litológiai értelmezését az 5. fejezetben fogjuk részletezni.

4.2. AVO (Amplitude Versus Offset) inverzió

Fentiek után a Line-4 mélyszeizmikus adatok AVO-inverziójával az volt a célunk, hogy az előzőekben ismertetett kvalitatív szerkezeti leképezésen túl olyan közetfizikai pa-

raméterekkel összefüggő adatokat is előállítsunk, amelyek litológiai következtetések levonására alkalmasak a vizsgált (Cascadia) szubdukciós zónában. Ebben az értelemben kvantitatív újrafeldolgozást is végrehajtottunk a Line-4 szelvény mentén. Ehhez az adta a motivációt, hogy az utóbbi időszakban számos olyan földtani publikáció jelent meg, melyek serpentinites zónák előfordulását valószínűsítik szubdukciós övekben (pl. DeShon, Schwartz 2004, Watanabe et al. 2007. Pagé, Hattori 2017). Mindezek és a korábbi közetfizikai cikkek is felhívják a figyelmet arra, hogy a serpentinite anomálishan közetfizikai tulajdonságokkal rendelkezik a rugalmas hullámok terjedése szempontjából (pl. Christensen 1996). *A serpentinitre anomálishan alacsony P-hullám-sebesség és -sűrűség, valamint magas Poisson-tényező jellemző és anomálishan erős reflexiókat okozhat. Morfológiai szempontból fontos megjegyezni, hogy a serpentinites zónák pikkelyesek (lamináltak) lehetnek ebben a kutatási mélység tartományban* (Watanabe et al. 2007).

Az AVO-analízis elméleti háttérét tárgyaló 3.2. alfejezetben utaltunk az alapvető AVO-attribútumokra (*A* tengelymetszet és *B* meredekség) és az ezekből származtatható litológiaiailag értelmezhető paraméterekre. A tengelymetszet (*A*) arányos a nulla beesési szögű P-hullám reflexiós



6. ábra A végleges CRS összecszelvény Kirchhoff-féle mélységmigrált változatának reflexióerősség-attribútuma hozzávetőleges mélységskálával (0–30 km): JdF – Juan de Fuca lemez, HRF – Hurricane Ridge vető, LRF – Leach River vető, SJF – San Juan vetőzóna

Figure 6 Reflection strength attribute of the Kirchhoff depth-migrated CRS stack with approximate depth scale (0–30 km): JdF – Juan de Fuca Plate, HRF – Hurricane Ridge Fault, LRF – Leach River Fault, SJF – San Juan Fault (Zone)

koeficienssel, ezért pontosabban fejezi ki a szeizmikus hátfelületek reflektivitását, mint a teljes észlelt szögtartományban összegzett szelvény összeg csatornáinak amplitúdóviszonyai. A skálázott Poisson-tényező-változás AVO-attribútumnak (A + B) még nagyobb gyakorlati jelentősége van, és emiatt elterjedten alkalmazzák a szénhidrogén-kutatásban. A Poisson-tényező (σ) ugyanis nagyon érzé-

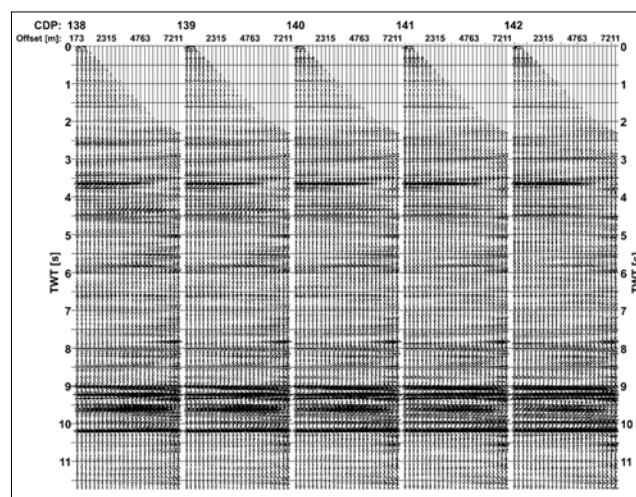
keny a litológiai változásokra, mivel magában foglalja a P- és az S-hullámok terjedési sebességeit is (V_p és V_s):

$$\sigma = (V_p^2 - 2V_s^2) / 2(V_p^2 + V_s^2)$$

Míndezek miatt a fent említett két, a litológiai paramétereket (reflektivitás és Poisson-tényező) jól tükröző AVO-attribútum szelvényt állítottuk elő (tengelymetszet és skálázott Poisson-tényező-változás). Az adatfeldolgozás lépéseit a 3. táblázatban közöljük.

Az AVO-inverzió bemenő adatainak jel/zaj viszonyának javításához nagy mértékben hozzájárult a parabolikus Radon-transzformáció alkalmazása (Russell et al. 1990), melyet hét szomszédos migrált CDP-gyűjtemény azonos sugárúttal rendelkező csatornáinak vertikális összegzése (szupergyűjtemények előállítás) után hajtottunk végre. A 7. ábrán a parabolikus Radon-transzformáció végeredménye látható a CDP = 140 közös mélységpont környezetében, szemléltetve az adatok koherenciáját.

A reflexiós amplitúdók AVO-inverziójával kapott eredményeket a 8., 9. és 10. ábrán mutatjuk be. A kék színű görbék a korábbi RMS sebesség meghatározásból (1. táblázat) számí-



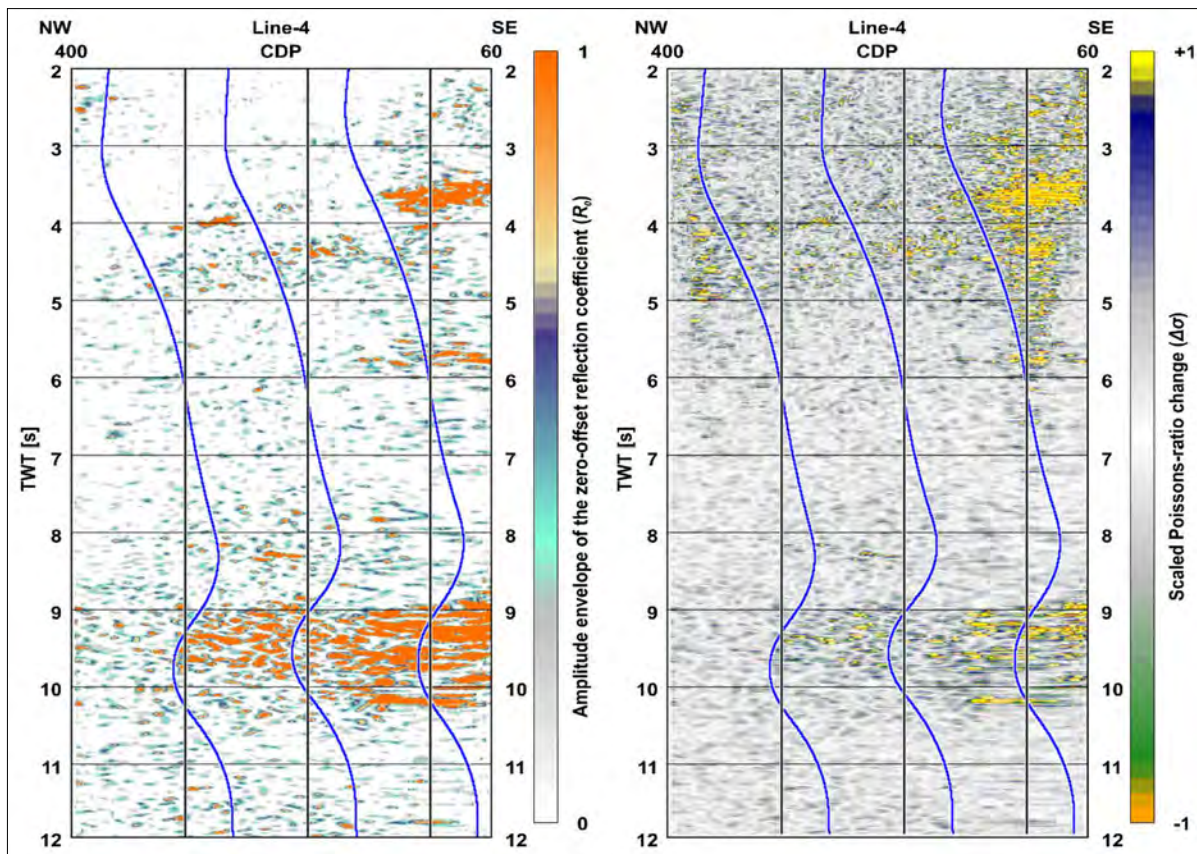
7. ábra A vertikális összegzés és a parabolikus Radon-transzformáció eredménye a CDP = 140 közös mélységpont környezetében

Figure 7 Results of Vertical Stacking and Parabolic Radon Transform around CDP = 140

3. táblázat Az AVO-adatfeldolgozás lépései

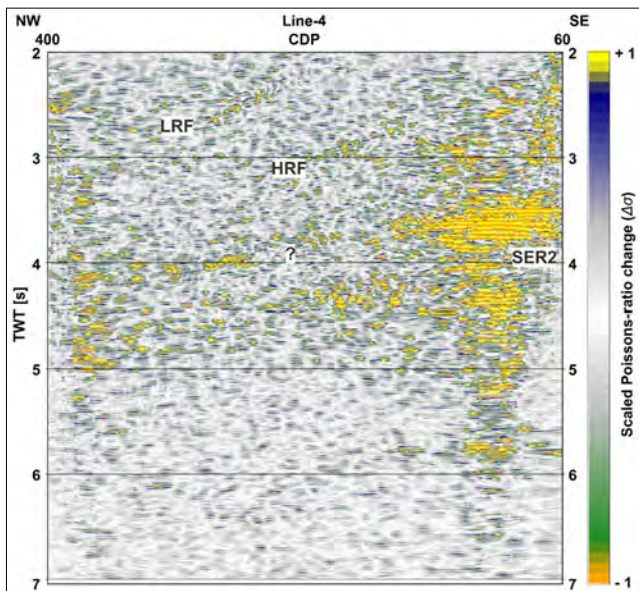
Table 3 Steps of AVO data processing

Adatok és feldolgozási műveletek	Megjegyzés
Migrált CDP-gyűjtemények és a reflexiós adatfeldolgozás során meghatározott P-hullám-sebességtér	Bemenő adatok
1. Szupergyűjtemények előállítás (7)	Adatfeldolgozási műveletek
2. Parabolikus Radon-transzformáció	
3. Beesési szög szerinti konverzió a P-hullám-sebességtér felhasználásával	
4. AVO-inverzió	Végleges kimenő adatok
Tengelymetszet és skálázott Poisson-tényező-változás AVO-attribútum szelvények	



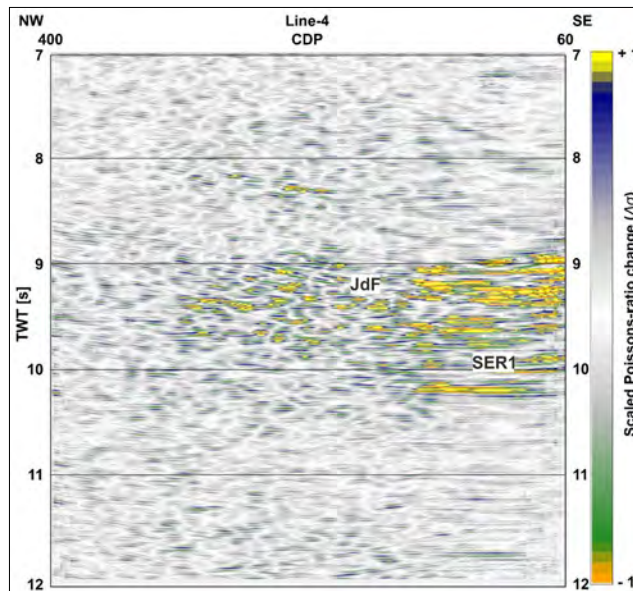
8. ábra AVO-attribútumok (CDP = 60–400 és TWT = 2–12 s között). Bal oldalon: tengelymetszet, jobb oldalon: skálázott Poisson-tényező-változás. A kék görbék a reflexiók RMS-sebesség meghatározásból számított P-hullám-intervallum-sebességeket reprezentálják

Figure 8 AVO attribute sections (CDP = 60–400 and TWT = 2–12 s). Left: Intercept, right: Scaled Poisson's Ratio Change. The blue curves represent the P-wave interval velocities obtained by reflection Velocity Analysis



9. ábra A skálázott Poisson-tényező-változás AVO-attribútum-szelvény kinagyított része (CDP = 60–400, TWT = 2–7 s): SER2 – feltételezett szerpentinites zóna

Figure 9 Enlarged part of the Scaled Poisson's Ratio Change attribute section (CDP = 60–400, TWT = 2–7 s): SER2 – presumed serpentinite zone



10. ábra A skálázott Poisson-tényező-változás AVO-attribútum-szelvény kinagyított része (CDP = 60–400, TWT = 7–12 s): SER1 – feltételezett szerpentinites zóna

Figure 10 Enlarged part of the Scaled Poisson's Ratio Change attribute section (CDP = 60–400, TWT = 7–12 s): SER1 – presumed serpentinite zone

tott P-hullám-intervallumsebességeket ábrázolják néhány CDP-helyen megjelenítve. Megjegyezzük, hogy természeténél fogva az RMS sebességtr az ilyen mélyebb kutatási tartományokban nem adhat részletes, csak simított képet.

A tengelymetszet szelvény esetében az értékek amplitúdóburkolóját jelenítettük meg, kiemelve a jelentős nulla beesési szögű P-hullám reflexiókoefficiensekkel jellemezhető helyeket a szelvény mentén. Szintén fontos megjegyezni, hogy ezeket az ábrákat széleiken lekorlátoztuk a korábban közöltekhez képest annak érdekében, hogy a szelvény tetején és két oldalán az eredetileg kapott zajos részeket kizárjuk a megjelenítésből. A skálázott Poisson-tényező-változást mutató attribútumszelvényeken citromsárga színek jelölik a Poisson-tényező nagy pozitív változásait és narancssárgák a nagy negatív változásokat.

Az AVO-inverzió végrehajtásával olyan közetfizikai információt igyekeztünk kinyerni az összegzés előtti reflexiók adatokból, amelyek (adott határok mellett) lehetővé teszik a litológiai értelmezését a mélykéreg tartományában is. Adott határok alatt a beesési szögek korlátozott tartományát értjük. *Esetünkben a legmélyebb kutatási zónából (kb. 8,5–10,5 s TWT) mindössze 0–10° reflexiók beesési szögeket kaptunk a terepi észlelési geometriából következően (a maximális észlelési távolság kb. 10 km volt az 1984. évi mérések során). Tekintettel arra azonban, hogy a legmélyebb kutatási tartományból is sikerült jól értelmezhető AVO-attribútumokat kaptunk, úgy gondoljuk, ezek az attribútumok a fenti korlát ellenére is alkalmasak további analízisre (közetfizikai elemzésre).*

A 9. és 10. ábra a skálázott Poisson-tényező változásait mutatja, a jobb láthatóság érdekében két részletben kinyitva (2–7 és 7–12 s).

5. Az eredmények szerkezeti és litológiai értelmezése

Az előzőekben bemutatott amplitúdóhú idő- és mélység-tartományban migrált CRS összegszelvények különböző

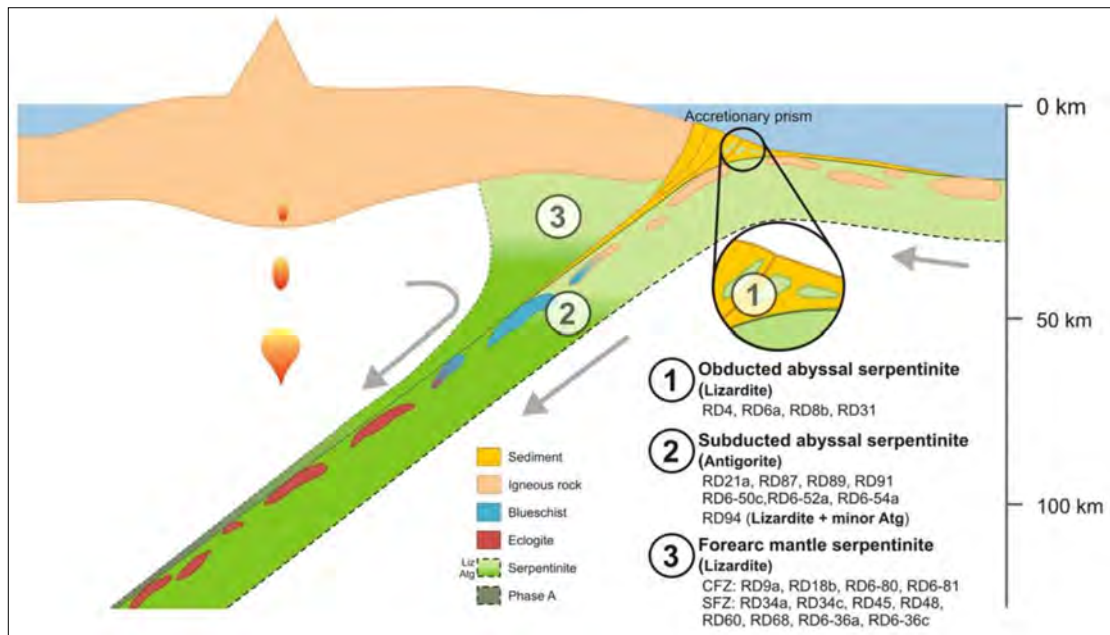
változatai (4., 5. és 6. ábra) segítségével minden eddiginél magasabb jel/zaj viszonyú képeket sikerült előállítani a földkéreg belső szerkezetéről a Cascadia szubdukciós zónában, egyelőre csak a tanulmányozott Line-4 mély-szeizmikus szelvény mentén. A szelvény síkjában (amely közel merőleges az alábukó óceáni lemez elmozdulási irányára) kitűnően észlelhető a Juan de Fuca mikrolemez erős reflexiókötege (körülbelül 8,5–10,5 s, illetve hozzávetőleg 21–26 km között). Emellett a felette kialakult földtani szerkezetek is jól tanulmányozhatók. A szelvény síkjában ÉNy felé dőlő (körülbelül 1,0–3,5 s, illetve hozzávetőleg 2–8 km közötti) kiemelkedő amplitúdójú reflexiót a Leach River vetővel azonosítjuk Green et al. (1985, 1986) publikációi alapján. Az új szelvényváltozatok összevetése után a korábbiaknál megalapozottabb elképzelésünk van a San Juan vető felszíni kilépési helyére is (CDP = 150–225). Az általunk értelmezett vető (vetőzóna) szelvény menti geometriája részletesebb, mint ahogy azt előzőleg publikálták, és nincs ellentmondásban a legutóbbi elképzeléssel (Clowes 2010).

A 6. ábrán közölt Hilbert-féle reflexióerősséget ábrázoló attribútumszelvény azt mutatja, hogy a Juan de Fuca lemez (legalábbis annak felső zónája) egy körülbelül 4–5 km vastagságú reflexióköteggel azonosítható, és ezek a reflexiók a szelvény DK-i részén a legerősebbek a CDP = 1–230 szakaszon, hozzávetőleg 21–26 km mélységek között. Hasonlóan erős reflexióköteg figyelhető meg egy kevésbé mély tartományban, a CDP = 20–160 szakaszon is, hozzávetőleg 8–10 km között. *Az erős reflexiókat serpentinites zónáknak tulajdonítjuk, amelyek pikkelyes szerkezete repedéseket biztosíthat mélységi fluidumok számára (Watanabe et al. 2007, Pagé, Hattori 2017). Jelenlegi eredményeink mellett azonban az sem kizárható, hogy részleges közetolvadékok okozzák a magas reflektivitású mélybeli zónákat.*

Fenti elképzeléseinket megerősítik a 8., 9. és 10. ábrán közölt AVO-attribútumok (tengelymetszet- és skálázott Poisson-tényező-változás) is. A szelvény menti szeizmikus adatok összegzés előtti inverziójával számított AVO-

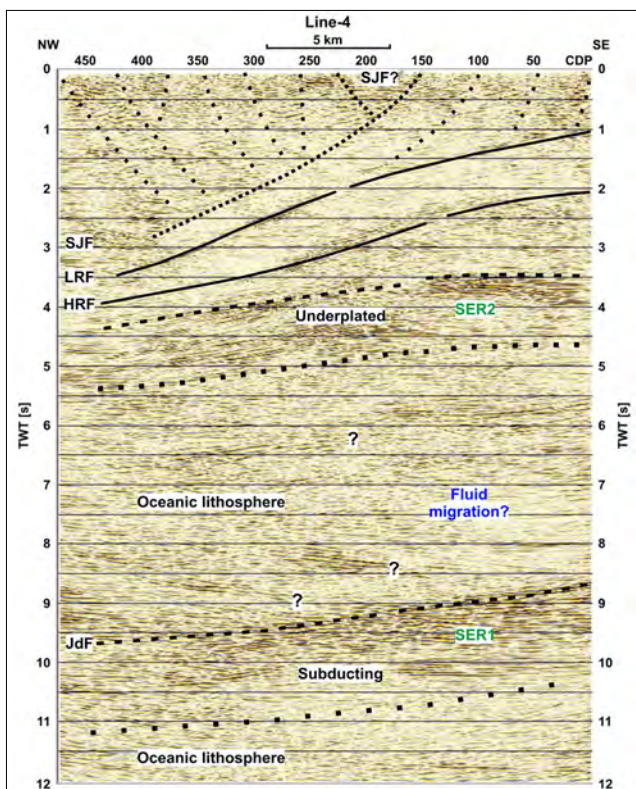
4. táblázat | A serpentinit közetfizikai és morfológiai jellemzői szubdukciós övekben
Table 4 | Petrophysical and morphological characteristics of serpentinite in subduction belts

Közetfizikai és morfológiai jellemzők	Hivatkozások	Jelen eredmények viszonya a hivatkozott publikációkhoz
Alacsony P-hullám-sebesség (V_p)	Christensen (1996)	Többnyire megegyezik
Alacsony sűrűség (ρ)	Christensen (1996)	Jelen tanulmányban még nem vizsgált
Magas Poisson-tényező (σ)	Christensen (1996); Watanabe et al. (2007)	Megegyezik
Magas V_p/V_s arány	DeShon and Schwartz (2004); Watanabe et al. (2007)	Jelen tanulmányban még nem vizsgált
Magas reflektivitás (R)	Watanabe et al. (2007)	Megegyezik
Pikkelyes (lemezes) kifejlődés	Watanabe et al. (2007)	Jelen eredmények alapján nagyon valószínű
Lehetséges mélybeli fluidumtároló zóna	Watanabe et al. (2007); Pagé and Hattori (2017)	A korábbi publikációk alapján nagyon valószínű



11. ábra Szubdukciós szerkezet vázlata (Dominikai Köztársaság) serpentinitminták helyzetének feltüntetésével (Pagé, Hattori 2017)

Figure 11 Schematic sketch of a subduction structure (Dominican Republic) with position of serpentinite samples (Pagé, Hattori 2017)



12. ábra A Line-4 mélyszeizmikus szelvény legújabb szerkezeti és litológiai értelmezése Green et al. 1986 és Clowes 2010 nyomán: JdF – Juan de Fuca lemez, HRF – Hurricane Ridge vető, LRF – Leach River vető, SJF – San Juan vetőzóna, SER1 és SER2 – feltételezett serpentinites zónák

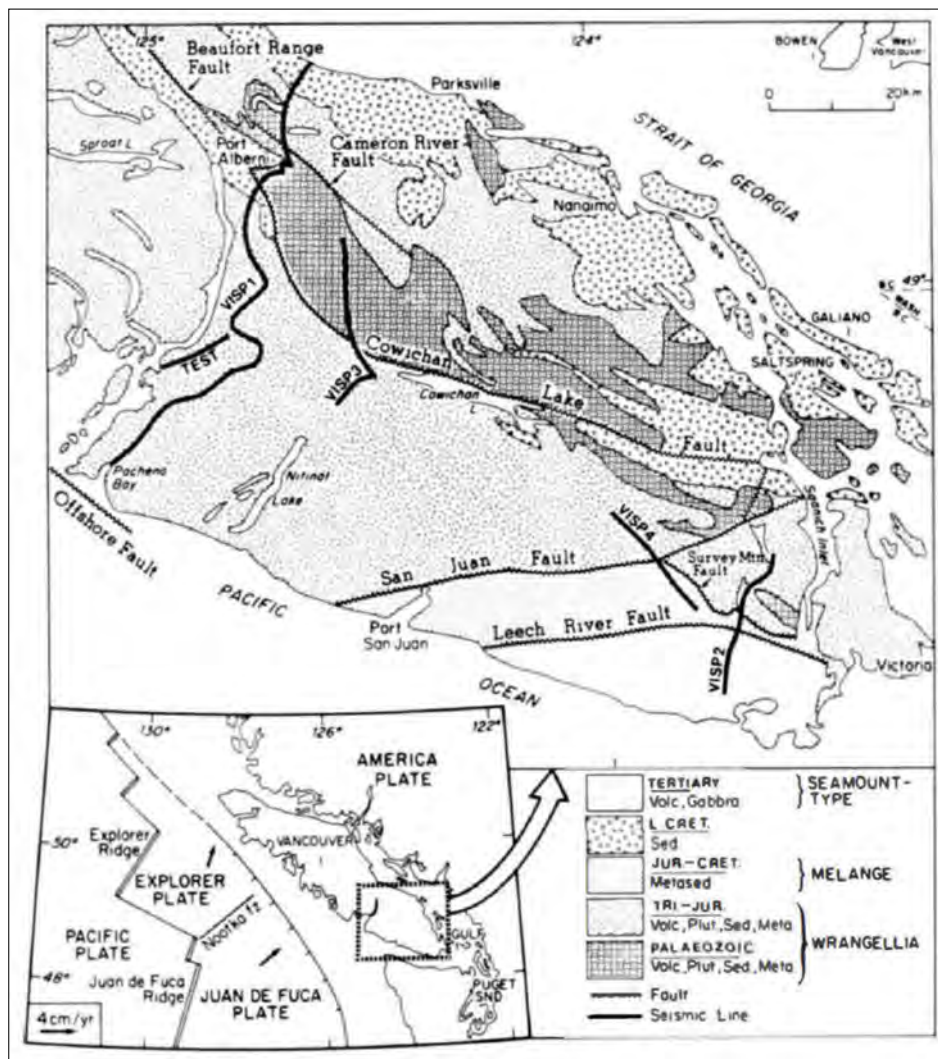
Figure 12 The most recent structural and lithological interpretation of the Line-4 deep seismic section after Green et al. 1986 and Clowes 2010: JdF – Juan de Fuca Plate, HRF – Hurricane Ridge Fault, LRF – Leach River Fault, SJF – San Juan Fault (Zone), SER1 and SER2 – presumed serpentinite zones

jellemzők nagyon hasonló képet mutatnak, mint az előzőekben összegecsatornákból előállított Hilbert-féle reflexióerősség szelvény. Mindezek mellett a serpentinites zónáknak (vagy olvadékoknak) tulajdonított legerősebb reflexiók a szelvény ugyanazon DK-i szakaszán és ugyanazon mélységtartományában mutatnak anomális AVO-válaszokat, mint a hagyományos (összegzés utáni) reflexióerősség-attribútum.

A 4. táblázatban összefoglaljuk mindazokat a kőzetfizikai és morfológiai tulajdonságokat, amelyek a serpentinit jellemzői, és egyúttal indikátorai lehetnek a szubdukciós övekben, valamint összehasonlítjuk ezeket a tulajdonságokat a jelen tanulmányban kapott eredményekkel.

Felvetődik a kérdés, hogy miként alakulhatott ki a tanulmányozott Cascadia szubdukciós öv környezetében az általunk valószínűsített két serpentinites zóna a kb. 8–10 km és 21–26 km mélység tartományban? A választ Zhang et al. (2021) adják meg, miszerint *magas hőmérsékletű szubdukciós zónákban az alábukó lemez dehidratálódik, és a mobilizált magas hőmérsékletű fluidum felfelé áramolva újabb serpentinites zónákat alakíthat ki a földkéreg megfelelő feltételekkel rendelkező kisebb mélységű környezetében is.* Ennek szemléltetésére mutatjuk be a 11. ábrát Pagé és Hattori (2017) után.

A 12. ábrán az új eredmények és korábbi publikációk (Green et al. 1986, Clowes 2010) alapján közöljük jelenlegi szerkezeti értelmezésünket a Line-4 Lithoprobe szelvény mentén. Az értelmezés időtartományban történt, a hozzávetőleges mélység viszonyokról áttekintést ad az 5. és a 6. ábra. Jelenlegi elképzelésünk a későbbiekben módosulhat a Line-1, -2 és -3 szelvények archív adatainak hasonló szemléletű feldolgozásával nyert térbeli információ figyelembevételével.



11. ábra Vancouver-sziget DK-i részének egyszerűsített földtani térképe, a VISP 4 felirat jelöli a Line-4 Lithoprobe szelvény nyomvonalát (Green et al. 1986)

Figure 11 Simplified geologic map of the DK portion of Vancouver Island. VISP 4 marks the Line-4 Lithoprobe profile (Green et al. 1986)

A fenti modell egyes szerkezeti elemeinek (San Juan vető és Leach River vető) térbeli áttekintéséhez a 13. ábrán bemutatott egyszerűsített földtani térkép nyújt segítséget (Green et al. (1986). A Line-4 szelvény mentén ÉNy-DK irányban haladva a San Juan vető (értelmezésünk szerint vetőzóna) különíti el a triász és júra korú főleg vulkáni kőzeteket a júra és kréta korú metaszedimentektől. A minden eddigi szelvényváltozaton jól korrelálható Leach River és Hurricane Ridge mestervetőik a szelvény DK-i elvégződésén túl érik el a felszínt. Végezetül megjegyezzük, hogy a mélyszeizmikus szelvény felső részének (~0–2 s TWT) eddig nem látott szerkezeti értelmezéséhez jelentős mértékben hozzájárult a CRS szerinti összegzés és a Hilbert-transzformációval előállított reflexióerősség-attribútum (6. ábra). A feltételezett serpentinites zónák (SER1 és SER2) felismeréséhez elsősorban a tengelymetszet és a skálázott Poisson-tényező-változás AVO-attribútumok nyújtottak nélkülözhetetlen információt (8., 9. és 10. ábra).

6. Következtetések és további célok

A Line-4 archív Lithoprobe adatokon végrehajtott amplitúdóhű újrafeldolgozás, a CRS (Common Reflection Surface) szerinti összegzés, valamint az összegzés előtti AVO (Amplitude Versus Offset) inverzió olyan új szerkezeti és litológiai információt nyújtottak, melyek lehetővé tették a mélyszeizmikus szelvény adatainak korábbiaknál pontosabb elemzését. A CRS-összegzés utáni adatok az eddigieknél jobban megvilágították a Juan de Fuca óceáni mikrolemez É-amerikai kontinentális lemez alá bukásának szelvény menti geometriáját és a felette lévő földtani formációk szerkezetét. Az összegzés előtt migrált adatok AVO-inverziója fontos litológiai következtetések levonását tette lehetővé. Az előállított AVO-attribútumok (tengelymetszet és skálázott Poisson-tényező-változás) alapján előzetes elképzelésünk az, hogy a tanulmányozott szelvény két mélység tartományában (kb. 21–26 km és 8–10 km) serpentinites zónák alakulhattak ki elsősorban a szelvény

DK-i részén. Ugyanakkor részleges olvadékok jelenléte sem teljesen kizárható az eddigi eredményeink alapján.

Fenti elképzeléseink pontosítása céljából szeretnénk végrehajtani P- és S-impedancia-modellek, illetve V_p/V_s arány előállítását is a már rendelkezésre álló és megfelelően előfeldolgozott összegzés előtti adatokból (Simultaneous Model-based inversion). Ehhez – mélyfúrás-geofizikai szelvények nyilvánvaló hiánya miatt – a reflexiós sebességvizsgálatból kapott adatokat fogjuk modellként használni. Végül célkitűzésünk az itt bemutatott módszertan alkalmazása a Vancouver-szigeten mért összes szeizmikus szelvény adatain egy kvázi 3D kép kialakítása érdekében. Mindezen célok megvalósítása tekintetében egyetlen lehetséges korlátot látunk, amely az adott észlelési rendszer mellett a legmélyebb kutatási zónából (kb. 21–26 km) észlelhető maximális reflexiós beesési szög (kb. 10°). A jelen tanulmányunkban bemutatott AVO-inverzió azonban e korlát ellenére is eredményes volt, ezért várható, hogy a továbbiakban tervezett inverziós eljárás is jól értelmezhető kőzetfizikai eredményeket fog adni.

Köszönetnyilvánítás

Köszönjük a Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága (SZTFH), Földtani Szolgálatának az eredmények kidolgozásához szükséges időkeret biztosítását. Ezúton fejezzük ki köszönetüket a kézirat lektorainak, Gombár Lászlónak és Török Kálmánnak segítőkész és hasznos megjegyzéseikért. Köszönet illeti Kemény Mártont a kézirat legelső változatának házon belüli ellenőrzéséért.

A tanulmány szerzői

Takács Ernő, Hajnal Zoltán, Gúthy Tibor, Irvine R. Annesley

Hivatkozások

Bazelaire E., Majer P., Hubral P. (1999): Seismic and optics: hyperbolae and curvatures. *Journal of Applied Geophysics*, 42, 261–281.

Chopra S., Castagna J. P. (2014): AVO, Investigations in Geophysics 16, Society of Exploration Geophysicist, Tulsa, Oklahoma, 288 p.

Christensen N. I. (1996): Poisson's ratio and crustal seismology. *Journal of Geophysical Research*, 101, 3139–3156.

Clowes R. (2010): Initiation, development, and benefits of Lithoprobe – Shaping the direction of Earth science research in Canada and beyond. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 47, 291–314.

DeShon H. R., Schwartz S. Y. (2004): Evidence for serpentinization of the forearc mantle wedge along the Nicoya Peninsula, Costa Rica. *Geophysical Research Letters*, 31, L21611.

Green A., Clowes R., Yorath C. (1985): Lithoprobe seismic reflection profiles from southeastern Vancouver Island. *Geological Survey of Canada Open File No. 1180*: 24 p.

Green A. G., Clowes R. M., Yorath C. J., Spencer C., Kanasewich E. R., Brandon M. T., Brown A. (1986): Seismic reflection imaging of the subducting Juan de Fuca plate. *Nature*, 319, 210–213.

Hilterman F. (1990): Is AVO the seismic signature of lithology? A case history of Ship Shoal–South Addition. *The Leading Edge*, 9, 15–22.

Jäger R., Mann J., Höcht G., Hubral P. (2001): Common-reflection-surface stack: image and attributes. *Geophysics*, 66, 97–109.

Késmárky I., Hajnal Z. (1991): Lithoprobe, Vancouver Island interval velocity case study. *Geophysical Transactions*, 37, 57–73.

Kiss V., Takács E. (2021): Vulkanári formáció szeizmikus leképezése egy Tokaj környéki kutatási területen CRS-összegzési eljárás alkalmazásával. *Magyar Geofizika*, 62, 61–72.

Mandal B., Sen M. K., Vaidya V. R., Mann J. (2014): Deep seismic image enhancement with the common reflection surface (CRS) stack method: evidence from the Aravalli–Delhi fold belt of northwestern India. *Geophysical Journal International*, 196, 902–917.

Mann J., Jäger R., Müller T., Höcht G., Hubral P. (1999): Common-reflection-surface stack – a real data example. *Journal of Applied Geophysics*, 42, 301–318.

Masri E. N., Takács E. (2022): AVO study on a known geothermal reservoir located in the fractured carbonate formations of the pre-Cenozoic basement, Northwest Hungary. *Acta Geodaetica et Geophysica*, 57, 477–494.

Masri E. N., Takács E. (2023): Simultaneous model-based inversion of pre-stack 3D seismic data targeting a deep geothermal reservoir, Northwest Hungary. *Acta Geodaetica et Geophysica*, 58, 19–33.

Menyoli E., Gajewski D., Hübscher C. (2004): Imaging of complex basin structures with the common reflection surface (CRS) stack method. *Geophysical Journal International*, 157, 1206–1216.

Ostrander W. J. (1984): Plane-wave reflection coefficients for gas sands at nonnormal angles of incidence. *Geophysics*, 49, 1637–1648.

Pagé L., Hattori K. (2017): Tracing halogen and B cycling in subduction zones based on obducted, subducted and forearc serpentinites of the Dominican Republic. *Scientific Reports*, 7:17776, 1–9.

Russell B., Hampson D., Chun J. (1990): Noise elimination and the Radon transform, Part 1 and Part 2. *Geophysics: The Leading Edge of Exploration*, pp. 18–23, 31–37.

Shuey R. T. (1985): A simplification of the Zoeppritz equations. *Geophysics*, 50, 609–614.

Takács E. (1996): Az észlelési távolságtól függő amplitúdók analízise (AVO) és a hazai alkalmazás lehetőségei. *Magyar Geofizika*, 37, 154–169.

Takács E., Kemény M., Gúthy T., Hegedűs E., Fancsik T. (2021): Rugalmassági paraméterek AVO-inverzióval történő becslése a Moho-mélység-tartományában – PGT-4 szeizmikus szelvény. *Magyar Geofizika*, 62, 73–83.

Taner M. T., Koehler F., Sheriff R. E. (1979): Complex seismic trace analysis. *Geophysics*, 44, 1041–1063.

Watanabe T., Kasami H., Ohshima S. (2007): Compressional and shear wave velocities of serpentinized peridotites up to 200 MPa. *Earth Planets Space*, 59, 233–244.

Yilmaz Ö. (1999): When reflections are not hyperbolae and reflectors are not points. *Journal of Applied Geophysics*, 42, 139–141.

Zhang Y., Gazel E., Gaetani G. A., Klein F. (2021): Serpentine-derived slab fluids control the oxidation state of the subarc mantle. *Science Advances*, 7, 1–7.

Zoeppritz K. (1919): Über Reflexion und Durchgang seismischer Wellen durch Unstetigkeitsflächen (On the reflection and transmission of seismic waves at surfaces of discontinuity). *Nachrichte von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen*, 66–84.

Agocs-ösztöndíj, 2024

A díjat alapító dr. William B. Agocs professzor szándéka szerint az Eötvös Loránd Tudományegyetem geofizika szakán megvédett, kiemelkedő színvonalú MSc-diplomamunkákat, illetve PhD-értekezéseket lehet jutalmazni. Az Agocs-díj kuratóriuma, amely részben a korábbi díjazottakból áll, titkos szavazással két MSc-diplomamunkát és két PhD-értekezést talált jutalmazásra érdemesnek 2024-ben.

A díjazott MSc-diplomamunkák:

Kövér Barnabás Balázs: Slab rollback and mantle delamination: numerical modelling of Mediterranean-type subduction zones. Témavezetők: *dr. Lenkey László Zoltán* (ELTE), *dr. Balázs Attila* (ETH Zürich).

Tomasik Máté: Elektromos áramok változásainak megfigyelése a földi magnetoszférában, műholdas mérések alapján. Témavezető: *dr. Kovács Péter* (Wigner Fizikai Kutatóközpont).

A díjazott PhD-értekezések:

Dr. Bozsó István: Műholdradar-interferometria és GNSS-mérések kombinálása 3D-s deformációk meghatározására. Témavezetők: *dr. Szűcs Eszter* (ELKH), *dr. Lichtenberger János* (ELTE).

Dr. Mihályka János: A magyarországi neogén törmelékes üledékek hővezetőképességének meghatározása fúróluk-geofizikai szelvények segítségével. Témavezető: *dr. Lenkey László Zoltán* (ELTE).

A díjakat *dr. Borhy László* akadémikus, az ELTE rektora nyújtotta át a díjazottoknak ünnepélyes körülmények között a rektori tanácssteremben, 2024. szeptember 17-én.

Kis Károly, Galsa Attila



Az Agocs-ösztöndíj átadása 2024. szeptember 17-én. Balról: *Kövér Balázs* (Kövér Barnabás külföldi tartózkodása miatt édesapja vette át az ösztöndíjat), *Tomasik Máté*, *Bozsó István*, *Borhy László akadémikus*, az ELTE rektora és *Mihályka János*

Hursán László

1935 – 2024

A Miskolci Egyetem, a Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar, a Geofizikai Tanszék munkatársai és a Gyászoló Család mély megrendüléssel tudatja, hogy Hursán László okleveles matematika-fizika szakos tanár, okleveles geofizikus, a Geofizikai Tanszék nyugalmazott címzetes egyetemi docense életének 89. évében, 2024. július 10-én elhunyt.

Hursán László 1935. január 29-én született Békéscsabán Hursán György és Boskó Mária házasságából. A Békéscsabai Evangélikus Fiúgimnáziumban érettségizett 1953-ban, majd a Szegedi Tudományegyetemen 1958-ban szerzett matematika-fizika szakos tanári képesítést. A soproni tanulmányai után, 1960-ban szerzett a Miskolci Bányamérnöki Karon geofizikus-mérnöki oklevelet. Szakmai pályafutását az Országos Földtani Kutató és Fúró Vállalat komlói, majd miskolci karotázscsoportjaiban kezdte, ahol kulcs szerepet játszott a mélyfúrás geofizika módszereinek a szilárdásvány- és vízku-
tató területén való bevezetésében, célirányos fejlesztésében és ipari léptékű alkalmazásában. Tudását nemzetközi szinten is kamatoztathatta, 1963–64-ben két évet dolgozott korának egyik kiemelt projektjén, a Magyar–Mongol Vízkutató Expedícióban.

1972-ben Csókás János professzor invitálására a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetem Geofizikai Tanszékének oktatója lett. Külső szakmai kapcsolatait oktatói minőségében is gondosan ápolva közös ipari-tanszéki projektek sokaságát vezette. 1974-től adjunktusként dolgozott és azóta fél évszázadon keresztül szolgálta a szeretett tanszékét, földtani szakemberek generációival megismertette a geo-

fizikai adatfeldolgozás és a mélyfúrás geofizika elméletét és gyakorlatát. Oktatómunkája során kiválóan kamatoztatta a Szegeden megszerzett matematika-fizika szakos tanári ismereteit, és magas színvonalú szakmai tudásán felül rendkívüli pedagógiai érzéssel nevelte a hallgatóit. 1996-tól kilenc évig a Bányamérnöki (2000-től a Műszaki Földtudományi) Kart a Dékáni Hivatal vezetőjeként szolgálta. Az új évezred elején régészeti geofizikai célú méréseket irányított, kutatási eredményeit a sajtón keresztül a szélesebb közönség is megismerhette. Oktató- és kutatómunkája mellett a számára oly kedves bányász hagyományokat is tevékenyen ápolta, örömmel részt vett a szakesteken, színvonalas munkáját és elkötelezettségét a Szent Borbála-éremmel ismerték el. Az egyetemről címzetes egyetemi docensként ment nyugdíjba. 2010-ben jubileumi aranydiplomát, majd 2020-ban gyémánt diplomát vett át. A Magyar Geofizikusok



Hursán László
1935 – 2024

Egyesülete életében mind végéig tevékenyen részt vett, az Egyesület Tiszteleti Tagja és Egyed László-émlékérem adományozottja.

Tisztelt Hursán László tanár úr! Fáradozásaid eredményei maradandóak: átadott tudásod és élettapasztalatod tanítványaidban, geofizikusmérnökök nemzedékeiben él tovább. Életed példa előttünk – művedet folytatjuk. Emlékedet kegyelettel megőrizzük, és mindig szeretettel gondolunk rád.

Szabó Norbert Péter,
tanszékvezető egyetemi tanár

Kántor József

1944 – 2024

„Dr. Kántor István vagyok, néhai Kántor József fia.

Édesapám postaládájában találtam meg a levelüket, amelyben kerek születésnapja alkalmából kívánnak megemlékezni róla. Sajnos édesapám nem sokkal a 80. születésnapját követően idén, július 10-én elhunyt. Úgy érzem tartozom még neki annyival, hogy elküldöm önöknek



Kántor József
1944 – 2024

egy igazolványképét, tekintettel arra, hogy sok jó emléke kötötte a Magyar Geofizikusok Egyesületéhez.

Tisztelettel: Dr. Kántor István”

Kedves Kollégánk! Nyugodj békében!

Szerkesztőség

Kováts Zsombor

1941 – 2024



Kováts Zsombor
1941 – 2024

Az idei forró nyáron Kováts Zsombor kollégánk hosszan tartó nehéz betegség után elment közülünk.

Nyugodjon békében!

Szerkesztőség

Szarka Rudolf, a Magyar Geofizikusok Egyesületének alapító tagja 1933 – 2024

A Magyar Geofizikusok Egyesülete 2024. június 20-án ismét elveszítette egyik alapító tagját, Szarka Rudolfot. Vajon hányan vagyunk még?

Egyed László – adjunktusi rangban – 1949-ben kapott megbízást az ELTE geofizikus képzésének megszervezésére. 1951 szeptemberében indult az első évfolyam, és ezzel egyidőben érkezett Egyed László docensi kinevezése. Szarka Rudi az ELTE geofizikus képzésének második évfolyamához tartozott, akik 1956 szeptemberében diplomáztak. Három évfolyam után egy időre le is állították a geofizikus-képzést az ELTE-n. Ezt az első három évfolyamot Egyed szinte saját gyerekeinek tekintette, olyan személyes kapcsolatot alakítva ki diákjaival, amely más tanszékeken ismeretlen volt. Az Egyesület megalakulásakor, 1954-ben, diákjait egységesen beléptette az Egyesületbe, melynek kezdeményezésében és szervezésében orosz-lánrészt vállalt.

Az induló évfolyamokra az egyetem tanulmányi osztályán az önéletrajzok alapján évfolyamfelelősöket neveztek ki, akik fő feladata évfolyamtársai politikai megnyilvánulásainak jelentése volt. A sok probléma elé néző szakérttségis és rendes érettségis geofizikus évfolyam élére – feltehetően vasutas édesapjának köszönhetően munkás származásának minősülő – Szarka Rudit választották. Így, mikor először összeverődött a társaság, Rudinak kellett volna vezéregyéniségként fellépni. Ehelyett egy rendkívül zárkózott, félszeg, szerény, Pécsről felkerülve Pesten teljesen bizonytalanul mozgó fiút ismertünk meg, akit pár hét után a tanulmányi osztály le is váltott évfolyamfelelősi funkciójából. Elég volt pár hét, hogy kiderüljön számukra: ez a fiú ugyan soha nem lesz a besúgójuk!

Szakmai karrierjét az aranydiplomához beadott önéletrajzból ismerhetjük meg:

„1933. szeptember 23-án születtem Pécsen. Ott is végeztem elemi, majd középiskolai tanulmányaimat. 1952-ben érettségiztem, majd felvételt nyertem az Eötvös Loránd tudományegyetem Természettudományi Karának geofizikus szakára.

1956 szeptemberében államvizsgáztam és megvédtem szeizmikus témakörű szakdolgozatomat. Diplomázásom után az Országos Kőolaj- és Gázipari Tröszt Szeizmikus Kutatási Üzemében helyezkedtem el. Terepi csoporthoz kerültem, ahol feladatom kiterjedt szeizmikus reflexiós mérési eredmények kiértékelésére, valamint refrakciós

mérések tervezésére és kivitelezésére előbb a Dunántúlon, majd az Alföldön.

1962-ig dolgoztam a kőolajiparban, amikor is a Mecseki Ércbányászati Vállalattól kaptam állásajánlatot. Az ajánlatot örömmel elfogadtam, részben mert így visszakérülhettem Pécsre, másrészt az uránipar felfejlődő kutatási tevékenysége változatos, vonzó munkalehetőséget kínált. Eleinte a szeizmikus méréseknek az uránkutatóba való bevezetésén dolgoztam, de később a teljes geofizikai eszköztárat kipróbálhattam az uránipar speciális igényeinek megfelelően.

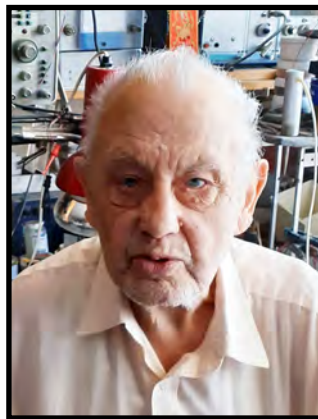
A feladatok változatossága és a terület újdonsága vonzott, hogy 1973-ban elfogadjam a Magyar Állami Földtani Intézet ajánlatát, hogy részt vegyek az 1971-től kormányközi egyezmény alapján működő Mongóliai Komplex Geofizikai Csoport munkájában. A csoport feladata a magyar földtani térképezők által kimutatott ércindikációk értékelő célú kutatása

volt. Szerződéselem lejárta után, 1975-ben visszatértem Pécsre, és folytattam korábbi munkámat.

1989. december 22-én vonultam nyugdíjba, de azóta több alkalommal is felkértek különböző cégek geofizikai kutatási feladatokra. A felkéréseknek mindig nagyon szívesen tettem eleget. A szakmám egyben a hobbim is, így a mai napig foglalkozom a földtani tudományok, azon belül a geofizika elméleti és gyakorlati kérdéseivel.”

Milyen jellemző Rudira, hogy a szigorú tényfelsorolást csak az utolsó mondat oldja, melyben valamit elárul érzéseiről, belső lényéről. Búcsúztatójában felesége ezt így fogalmazza meg: „Nyugdíjazása után is folytatta addigi munkáját, mintha mi sem történt volna. Szobája szinte az irodájává vált. Minden szerdán terepre ment. Mindennapi munkája a geofizika volt, továbbá az ehhez tartozó kutatás, fejlesztés, műszerek szerkesztése, adott esetben készítése volt. Magyar, angol és orosz szakfolyóiratot járatott.” A róla készült egyik utolsó fényképfelvétel alátámasztja ezeket a sorokat: nem egy műszerfejlesztő laborban, hanem otthoni szobájában készült.

Zárkózottsága ellenére jó kapcsolata volt munkatársaival, azon kevesek közé tartozott, akinek ellensége, rosszakarója keresve se találtatott. Hiszen éppen visszahúzódo természete miatt senkit nem előzött meg kinevezésekben, vagy díjakban. Soha nem panaszkodott az őt megillető elismerés elmaradása miatt, de nagy örömmel és hálás szívvel fogadta, ha részesült benne, pl. hogy az Egyesület ki-



Szarka Rudolf
1933 – 2024

küldöttjeként képviselhette a magyar geofizikát az 1987-es EAEG konferencián.

Igazán feloldódni családja körében tudott. Bár mindkét gyermeke külföldön telepedett le, szoros kapcsolatot tudott fenntartani velük és hat unokájával, akik már három dédunokával is megajándékozták. Egy szerencsétlen bal-

eset indította be hosszadalmas hanyatlását, de felesége gondos ápolással biztosította, hogy szinte az utolsó pillanatig szeretett otthonában tölthette napjait.

Volt évfolyamtársaid, barátaid nevében búcsúzunk tőled: megőrizzük emlékedet!

Kilényi Éva

Virágh Péter

1939 – 2024

Virágh Péter, geofizikus-mérnök (Berhida, 1939. 03. 03. – Pécs, 2024. 07. 16.) gyermekkorát Berhidán töltötte. A Veszprémi Állami Lovassy László gimnáziumban érettségizett 1957-ben. Az érettségi után Pécsre került a Mecseki Ércbányászati Vállalathoz (MÉV). A MÉV-től ösztöndíjat kapott a Miskolci Nehézipari Egyetemre, ahol egyetemi tanulmányait 1958-ban kezdte meg, majd geofizikus-mérnöki diplomáját 1963-ban szerezte meg. Az egyetem befejezése után visszatért a MÉV-hez, ahol mint geofizikus mérnök dolgozott egészen 1990-es nyugdíjazásáig. A Mecseki Ércbányászati Vállalat II. sz. bányüzemében 1964–1975 között földalatti körletgeofizikusként tevékenykedett, majd 1975-ben átkerült a III. sz. Bányüzembe, ahol a bányüzem geofizikai szolgálatának a vezetőjeként dolgozott egészen nyugdíjba vonulásáig. Életének egyik legemlékezetesebb időszakát jelentette a mongóliai munkája, amikor 1971–1973 között Mongóliában a III. sz. Mongol–Magyar Földtani Térképező Expedíció tagjaként végzett geofizikai méréseket. Új szakterülettel ismerkedett meg 1989–1991 között, amikor is a Marx Károly Közgazdaságtudományi



Virágh Péter
1939 – 2024

Egyetem Posztgraduális Karának Geogazdasági szakán geogazdasági közgazdasági szakokleveles mérnök diplomát szerzett. 1990-ben történt nyugdíjazása után néhány éven át geofizikus vállalkozóként tevékenykedett, amelynek során többnyire geofizikai tárgyú munkákat szakvéleményezett.

A MÉV-nél végzett munkáját 1978-ban a Bányász Szolgálati Érdemérem bronz és 1988-ban annak ezüst fokozatával ismerték el.

Publikációi:

Szabó János, Somlyai Zoltán, Székely Endre, Tirkala Ferenc, Virágh Péter (1968): A gamma–gamma szelvényezés feladatai a mecseki ércbányászatban. *Magyar Geofizika*, 9/6, 237–240.
Szabó János, Tirkala Ferenc, Virágh Péter, Buzási Lászlóné (1970): Bányabeli geoelektromos vizsgálatok. *Bányászati és Kohászati Lapok*, 102/8, 551–554.

Sikó Ágnes, Virágh Péter (1993): A mecseki ércbányászat környezetroncsoló hatásának egyes kérdései. *Specimina Geographica*, 3, 52–58.

Sikó Ágnes

Egy régi kép – Szemétégető üzem Bécsben 1997



Hivatalos látogatás az Osztrák Geológiai Szolgálatnál, ahol környezetvédelmi kérdések is szóba kerültek (Hegymegi László és Bodoky Tamás)



MAGYAR GEOFIZIKUSOK EGYESÜLETE

1145 Budapest, Columbus u. 17–23.; Tel./Fax: (1) 201-9815

E-mail: postmaster@mageof.t-online.hu; Honlap: www.mageofegy.hu