

MAGYAR GEOFIZIKA

HUNGARIAN GEOPHYSICS

A MAGYAR
GEOFIZIKUSOK
EGYESÜLETÉNEK
FOLYÓIRATA



JOURNAL OF THE
ASSOCIATION
OF HUNGARIAN
GEOPHYSICISTS

A Magyar Geofizikusok Egyesületének
2021. évi rendkívüli közgyűlése
Tisztelet az éveknek

Schumann-rezonancia-mérések modellezése inhomogén hullámvezetőre
A szeizmikus litoszférakutató szelvények felhasználása a nyírségi kutatásokban

Még néhány mondat a paksi kutatási jelentéshez

Agocs-ösztöndíj, 2021

A Balkán Geofizikai Társulat 11. Kongresszusa

In Memoriam:

Király Ernő
Sajti László

Sédy Judit
Séfel József



MAGYAR GEOFIZIKA

HUNGARIAN GEOPHYSICS

62. évfolyam (2021) 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)

- 89 A Magyar Geofizikusok Egyesületének 2021. évi rendkívüli közgyűlése (General Assembly of AHG) – *Hegedűsné Petró E.*
92 Tisztelet az éveknél (Members of honoured ages) – *Hegybíró Zs.*

TANULMÁNY • PAPER

- 95 Schumann-rezonancia-mérések modellezése inhomogén hullámvezetőre (Modeling of Schumann resonance measurements for nonuniform waveguide) – *Prácser E., Bozóki T.*
105 A szeizmikus litoszférakutató szelvények felhasználása a nyírségi kutatásokban (The use of deep seismic lithosphere profiles in the research of the Nyírség region) – *Kiss J.*

TUDOMÁNYTÖRTÉNET • SCIENCE HISTORY

- 124 Még néhány mondat a paksi kutatási jelentéshez – *Prónay Zs.*

HÍREK • NEWS

- 134 Agocs-ösztöndíj, 2021 – *Kis K.*
135 A Balkán Geofizikai Társulat (BGS) 11. Kongresszusa

IN MEMORIAM

- 136 Király Ernő – *Verő L.*
138 Sajti László – *Szerkesztőség*
139 Sedy Judit – *Bodoky T., Kilényi É., Kovács B.*
141 Sétel József – *Kilényi É.*

MAGYAR GEOFIZIKA

HUNGARIAN GEOPHYSICS

62. évfolyam (2021) 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. BARÁTH ISTVÁN, DR. GALSA ATTILA, DR. KISS JÁNOS,

DR. PETHŐ GÁBOR, DR. SZABÓ NORBERT PÉTER

Technikai szerkesztő • Technical Editor

HOCK GÁBOR

E-mail: mageoftechn@gmail.com

A szerkesztőség a szakcikkeket (tanulmányokat) szaklektorálás után közli. A szaklektorok névsorát az évszám számban tesszük közzé. A lapban megjelenő cikkek adatainak és állításainak helyességért, ill. közölhetőségéért kizárólag a szerzők tartoznak felelősséggel.

Kiadja a Magyar Geofizikusok Egyesülete
A kiadásért felel: Kovács Attila Csaba

Szerkesztőség: 1145 Budapest, Columbus u. 17–23.
Telefon/Fax: (1) 201-9815
Titkársági e-mail: postmaster@mageof.t-online.hu
Honlap: www.mageof.hu

Borító, tipográfia és nyomdai előkészítés:
EP Systema Bt., Budapest

Készült: Starkiss Kft., 2040 Budaörs, Kisfaludy utca 40.
Felelős vezető: Kiss Sándor üv. igazgató

Előfizethető a Magyar Geofizikusok Egyesületénél
(1371 Budapest, Pf. 433, Telefon/Fax: (1) 201-9815)
egyesületi tagoknak tagdíj ellenében
Megjelenik évente négyszer
INDEX: 26 507
HU ISSN 0025-0120 (print)
HU ISSN 2677-1497 (online)

A Magyar Geofizikusok Egyesületének 2021. évi rendkívüli közgyűlése

A Magyar Geofizikusok Egyesületének 2021. évi közgyűlése a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat Dísztermében (1143 Budapest, Stefánia út 14.) került megrendezésre. A jelenléti ív tanúsága szerint 21 fő jelent meg a közgyűlésen. A szokatlanul alacsony részvételi arány a járványhelyzettel volt magyarázható.

A közgyűlést *Zelei Gábor*, az Egyesület elnöke nyitotta meg, majd a Himnusz hangzott el.

Az elnök megállapította, hogy a 15.00 órára összehívott közgyűlés a megjelentek kis száma miatt határozatképtelen volt, de a meghívóban meghirdetett második időpontban, 15.30 órakor a rendkívüli közgyűlés már a jelenlévők létszámától függetlenül határozatképes, majd megkérdezte, hogy a jelenlévők elfogadják-e az előzetesen kiadott napirendet, illetve hogy ezzel kapcsolatban van-e valakinek javaslata, ellenvetése. A jelenlévőknek ellenvetése, javaslata nem volt a kiadott napirenddel kapcsolatban. A napirendet a közgyűlés egyhangúlag elfogadta.

Ezután az elnök javasolja *Hegedűsné Petró Erzsébet*et a jegyzőkönyv vezetésére, valamint *Bauer Márton*t és *Szalay István*t a jegyzőkönyv hitelesítésére. A jelenlévők egyhangúlag elfogadják a felkért személyek közreműködését.

Az elnök köszöntötte társegyesületünk képviselőjét, a Magyarhoni Földtani Társulat elnökét, *dr. Budai Tamást*, valamint az Egyesület jogi tagjainak, támogatóinak, segítőinek jelen lévő képviselőit.

Megköszötte az MBFSZ elnökének a lehetőséget, hogy igénybe vehettük a közgyűlés megtartására a Stefánia úti dísztermüket.

Az elnök üdvözlő beszédében elmondta, hogy milyen sok terve volt az Egyesületnek a 2020-as évre, hiszen egy igen sikeres, eseményekben gazdag 2019-es évet tudhatunk magunk mögött, ezért joggal készültünk bizakodással, tervekkel a 2020-as évre. Sajnos a járvány ezeket a terveket keresztülhúzta, szinte semmit sem tudtunk megvalósítani elhatározásainkból. Az egyesületi élet nagyon nehézkesé vált. Reménykedtünk abban, hogy majd 2021-ben javul a helyzet, de sajnos úgy tűnik, hogy hiába. A szokásos rendezvényeinket sem tudtuk megtartani. A 2020. év végén megszületett egy támogatási csomag a FÖCIK (Földtudományi Civil Közösség) égisze alatt, melynek keretében egy munkatervet készítettünk 2021-re. Az elkészült tervezetet beadtuk a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Hivatalhoz, ahol az elbírálás után támogatásban részesítették a FÖCIK-et a kitűzött programja megvalósításához. A program magában foglalja, hogy minden tagegyesület elvállalta egy ismeretterjesztő rendezvény szervezé-

sét és lebonyolítását a saját szakterületén. Ezzel főleg a fiatalokat, elsősorban a középiskolásokat megcélozva kell, hogy elősegítsük az egyes tudományterületek szakemberutánpótlását. Egyesületünk két vállalat is tett: megszerveztük és megünnepeltük a Föld napját 2021. áprilisban, (alkalmazkodva a kialakult helyzethez a tervezett konferenciasorozatot a Zoom alkalmazás használatával tartottuk meg), valamint fő szervezői leszünk a Kárpát-medencei földrajz- és földtudományi középiskolás versenynek. A verseny kiírása után 50 3-3 fős csapat regisztrált, köztük néhány erdélyi, kárpátaljai és felvidéki csapattal. Számos pozitív visszajelzést kaptunk a versennyel kapcsolatban, melynek a döntőjét ősszel tartjuk, immár nem online. A döntőben a 12 továbbjutó csapat mérheti majd össze tudását.

Végül az elnök megköszönte az Elnökség, valamint, az általános titkár és az ügyvezető titkár áldozatos munkáját, és egyúttal sok sikert kívánt a továbbiakban a most őt követő új elnöknek.

Az elnöki beszámoló után a közgyűlés egyperces néma felállással emlékezett meg azokról a tagtársainkról, akik az elmúlt év során hunytak el:

*Barvitz Anna, Frenzl Balázsné,
Dr. Megyeri Mihály, Sághy György*

Ezután az elnök felkérte *Berezcki László* általános titkárt, hogy tartsa meg 2020. évi titkári beszámolóját.

Berezcki László tájékoztatást ad arról, hogy a veszélyhelyzet során a személy- és vagyonegyesítő szervezetek működésére vonatkozó eltérő rendelkezésekről szóló rendelet, az 502/2020. (XI. 16.) Korm. rendelet 5. § (1) bekezdése alapján az Elnökség 2021. április 22-én elfogadta az Egyesület 2020. évi mérlegének beszámolóját és közhasznúsági mellékletét. A hivatkozott Kormányrendelet 2021. június 1-től hatályos rendelkezései értelmében ezt a döntést legkésőbb 2021. október 15. napjáig egy rendkívüli közgyűlés napirendjére kell tűzni, és a közgyűléssel jóvá kell hagyatni. Ez tehát az éppen zajló közgyűlés egyik fontos feladata.

Az általános titkár elmondta, hogy az Egyesület elnöksége április 22-én az elnökségi ülésen elfogadta az MGE 2019. évi pénzügyi beszámolóját és közhasznúsági jelentését, hasonlóképpen elfogadta a Magyar Geofizikusokért Alapítvány 2019. évi pénzügyi beszámolóját és közhasznúsági jelentését is. Ezután egyhangúlag megszavazta az Elnökség, hogy ezeket az Egyesület és az Alapítvány könyvelője beküldje az Országos Bírósági Hivatalhoz. A hivatkozott tör-

vény lehetővé teszi ezt a megoldást azzal a feltétellel, hogy amint össze lehet hívni a közgyűlést, a közgyűlésnek is el kell ezeket fogadnia, illetve ha a tagság részéről kiegészítést kérnek, azt utólag be kell még nyújtania.

Bereczki László ismertette az Elnökség által korábban elfogadott mérleg beszámoló lényeges pontjait. A jelenlévők figyelmébe ajánlotta a 2020-as évről készült és valamennyi tagtársunknak írásban eljuttatott titkári beszámolót, amelyben minden részletesen megtalálható a Magyar Geofizikusok Egyesületének tevékenységéről. Az Egyesület tagságának létszáma 2020-ban 470 fő volt. Az elmúlt évekhez hasonlóan zajlott az egyesületi élet, de terveinket, elképzeléseinket sajnos a járvány sok területen áthúzta. A tavalyi évnek egy másik negatív hatása is volt, nevezetesen támogatásaink nagymértékben csökkentek. Emiatt a pénzügyi helyzetünk is romlott, nem sikerült pozitív pénzügyi mérleggel zárni a 2020-ban. Tevékenységünket az alapszabály szerint végeztük. 2020-ban megfeleltünk a közhasznúsági követelményeknek is, vagyis a Magyar Geofizikusok Egyesülete továbbra is közhasznú státuszú. Szakmai tevékenységeink is korlátozottak voltak, így nem tudtuk megtartani az Ifjú Szakemberek Ankétját. Az idei rendezvényt is szeptemberre kellett halasztani az ismert okok miatt. A területi csoportjaink is csak nagyon korlátozottan működhettek, rendezvényeik többségét nem lehetett megtartani. A *Magyar Geofizika* című egyesületi szaklapot továbbra is ki tudtuk adni, mind nyomtatva, mind pedig elektronikusán. A honlapot is szeretnénk nagymértékben megújítani, egy teljesen új arculattal szeretnénk megjeleníteni az év második részében. A honlap megújításába fiatal, egyetemi hallgató tagtársainkat is bevontuk.

Az elmúlt évben tovább ápoltuk nemzetközi kapcsolatainkat, folytattuk tevékenységünket, amennyire ezt a járványhelyzet engedte.

*Zelei Gábor*t másodszorra is megválasztották a FÖCIK elnökének, immár az OMBKE részéről, de ez így is figyelemre méltó esemény.

Nagy létszámcsökkenés nem következett be, az egyes szakosztályokban inkább némi emelkedés volt tapasztalható.

A tavalyi évben zajlott le két területi csoportunk egyesülése: a Mecseki és a Nagykanizsai Csoportból Dél-dunántúli Csoport lett.

Mivel 2020-ban nem tudtuk az Ifjú Szakemberek Ankétját megrendezni, így az 1%-os felajánlásokat sem tudtuk felhasználni az ISZA-n részt vevő fiatalok támogatására, ezért – ahogy arról már mindenki értesülhetett – a *Magyar Geofizika* c. szakmai lap megjelentetésére és az Egyesület működésére használtuk fel a beérkezett összeget.

Amint a kivetítőn látható, sajnos a 2020-as évben a lecsökkent támogatások következtében Egyesületünk 1,2 millió Ft veszteséggel zárta a pénzügyi évet. A rendezvények és a támogatások elmaradása nagyon meglátszik a pénzügyi helyzetünkön.

Az egyéni felelősségvállalást, a közhasznúság megtartását és a hagyományok ápolását továbbra is szem előtt tartottuk, amennyire azt a járványhelyzet lehetővé tette.

Nagyon szűk körben megtartottuk Eötvös Loránd sírjának megkoszorúzását is áprilisban.

Végül az általános titkár azzal zárta beszámolóját, hogy ha van az elhangzottakkal kapcsolatban valakinek kérdése, arra szívesen válaszol.

Az elnök megköszöni *Bereczki László* általános titkár beszámolóját, és felkéri *Kaszás Lászlót*, a Felügyelőbizottság elnökét, hogy tartsa meg 2020. évi beszámolóját.

Kaszás László ismerteti, hogy a Felügyelőbizottságnak (FB) minden évben feladata az MGE gazdálkodásának, tevékenységének felülvizsgálata. Elmondja, hogy a titkári beszámolóban a közgyűlés már részletes képet kaphatott a gazdálkodásról. Az FB részéről megerősíti, hogy az Egyesület fegyelmezett gazdálkodást folytatott. Az 1,2 millió forintos hiány nem fogja befolyásolni az Egyesület működését, mivel a korábbi időszakokban is alkalmazott fegyelmezett gazdálkodás kellő tartalékot biztosít a további zavarmentes működésre. A közhasznúságot is megvizsgálták, és megállapították, hogy az Egyesület a közhasznúsági követelményeknek teljes mértékben megfelelt. Az erőforrás-ellátottsági mutató és a társadalmi támogatottsági mutatók közül 1-az-1-ben kell megfelelni, ezt 2020-ban maximálisan teljesítettük. Az FB az előírt legalább egy bizottsági ülés megtartásának eleget tett. Az FB-hez jogszabálysértésről, az alapszabálytól eltérő működésről bejelentés nem érkezett. Az FB a közgyűlésnek elfogadásra javasolja az MGE 2020. évi beszámolóját.

Az elnök megköszönte *Kaszás Lászlónak*, a Felügyelőbizottság elnökének a 2020. évről szóló beszámolóját és felkérte *Gombár Lászlót*, a Magyar Geofizikusokért Alapítvány kuratóriumának elnökét, hogy tartsa meg beszámolóját a 2020-as évről.

Gombár László, az Alapítvány Kuratóriumának elnöke az Alapítvány tevékenységéről szóló néhány szót. Rájuk is vonatkoztak az eddig elhangzottak, hiszen minden tevékenység elmaradt, konferenciákat nem tartottak, így nem kért senki sem támogatást az Alapítványtól. Nem kért senki szociális támogatást sem 2020-ban. Bevételeik az Egyesület 10%-os utalásának köszönhetően viszonylag jól alakultak. A tényleges kiadások és bevételek nem úgy alakultak, ahogy azt tervezték. Sajnálatos módon a fentiek értelmében nem tudták teljesíteni a közhasznúsági feltételeket, ezért az Alapítvány közhasznúsága sajnos megszűnt. A tervezett kiadásokat talán 2021-ben tudják majd teljesíteni, ha azt a járványhelyzet engedi. 2,9 millió forint van még az Alapítvány számláján, de sajnos a külső támogatások itt is megszűntek. 1%-os felajánlást sem kapott az Alapítvány 2020-ban.

Zelei Gábor elnök megköszönte *Gombár László* beszámolóját, és felkérte *Kaszás Lászlót*, a Felügyelőbizottság elnökét, hogy tartsa meg beszámolóját a Magyar Geofizikusokért Alapítvány beszámolójával kapcsolatban.

Kaszás László elmondta, hogy sajnos a Felügyelőbizottság is azt állapította meg, hogy az Alapítvány közhasznú státuszát nem tudta megtartani 2020-ban. Ezt azonban vissza lehet szerezni, tehát nincs nagy baj. Mivel az Alapítványnál érdemleges tevékenység nem történt az elmúlt év-

ben, az Alapítvány Kuratóriumának javasolták a mérleg elfogadását, ami meg is történt 2021. május 14-én. Az FB a közgyűlésnek elfogadásra javasolta a Magyar Geofizikusokért Alapítvány beszámolóját.

Mivel nem merült fel sem kérdés, sem észrevétel, az elnök kérte, hogy elsőként szavazzanak a jelenlévők az elhangzott általános titkári beszámolóról kézfeltartással. A megjelenetek tartózkodás és ellenszavazat nélkül elfogadták az MGE titkári beszámolóját, majd ugyanígy jóváhagyták az Elnökség 2021. április 18-án hozott döntését, mellyel az MGE FB írásbeli jelentésével jóváhagyott 2020. évi pénzügyi beszámolóját és közhasznúsági mellékletét elfogadta. Ugyancsak tartózkodás és ellenszavazat nélkül került elfogadásra a Magyar Geofizikusokért Alapítvány Kuratóriumának 2020. évi beszámolója és a Magyar Geofizikusokért Alapítvány beszámolójáról készített felügyelőbizottsági jelentés.

Ezután a jelenlévők 19 igen szavazattal – tartózkodás és ellenszavazat nélkül – jóváhagyták a Magyar Geofizikusokért Alapítvány Kuratóriumának 2021. május 14-én hozott döntését, mellyel a Magyar Geofizikusokért Alapítvány FB írásbeli jelentésével jóváhagyott 2020. évi pénzügyi beszámolóját és közhasznúsági mellékletét elfogadta.

A szavazások végeztével Zelei Gábor elnök felkérte Bereczki László általános titkárt, hogy ismertesse a 2021-es év pénzügyi tervét.

Bereczki László általános titkár elmondta, hogy a szokásos kiadások nem változnak, az előző évekhez hasonlóan tervezték az egyes kiadásokat. A kiadásoknál, ahol tudunk, az eddigi szerény tervekhez képest is próbáltunk vágni az összegekből. A kiadások között tervként 2021-ben még az ISZA költségei szerepelnek. A bevételeknél más források híján már szinte csak a tagdíjakat és jogi tagdíjakat tervezték be. 2020-ban még kaptunk támogatást a MOL-tól, és támogatta az Egyesületet az MTA is. Idén nagy valószínűséggel kiesik a sok éve tartó támogatás a MOL részéről. Szerencsére elég sokan jelentkeztek az idei ISZARA, így ez biztató a bevételek szempontjából. Ezért egy nagyon kicsi plusszal, de pozitív eredményű évben bízunk a 2021-ben.

Mivel kérdés, észrevétel nincs az elhangzottakkal kapcsolatban, az elnök kérte, hogy kézfeltartással szavazzanak a jelenlévők a beszámoló elfogadásáról, majd a szavazást követően megállapította, hogy a közgyűlésen megjelent tagtársak egyhangú igen szavazattal – ellenszavazat és tartózkodás nélkül – elfogadták az MGE 2021. évi pénzügyi tervét.

Zelei Gábor elnök a 2020. évet ezennel lezártnak nyilvánítja, és felkéri a Jelölőbizottság elnökét, Bauer Mártont, hogy ismertesse a jelenlévőkkel, hogy ebben az évben milyen egyesületi posztra kellett jelöltet állítani.

Bauer Márton, a Jelölőbizottság elnöke beszámol arról, hogy a Jelölőbizottság azt a feladatot kapta az Elnökségtől, hogy a Magyar Geofizikusok Egyesületének alelnöki posztjára gyűjtse össze a jelöléseket, mivel az eddig elnöki posztot betöltő Zelei Gábor elnök leköszön, és helyét az eddigi első alelnök Kovács Attila Csaba veszi át. Az alelnöki posztra egyetlen jelölés érkezett: dr. Timár Gábor személyében. Dr. Timár Gábor a jelölést elfogadta.

Az alelnöki posztra a közgyűlés dr. Timár Gábort jelölte. Bauer Márton ismertette dr. Timár Gábor életrajzát.

Zelei Gábor elmondta, hogy a választás titkos szavazással történik a rendezvény szünetében, és kérte, hogy kézfeltartással jelezzék a megjelenetek, hogy elfogadják-e az imént ismertetett jelöltet. A közgyűlés egyöntetűen elfogadta a fentiekben ismertetett jelöltet.

Zelei Gábor ezután bejelentette, hogy 15 perc szünet következik, amikor mindenki leadhatja szavazatát. A szünet után a kitüntetések átadásával folytatódik a közgyűlés.

A szünet után Zelei Gábor felkérte Bereczki Lászlót, hogy ismertesse az idei kitüntetések és díjakat.

– Renner János-emlékérmet kapott Szabó Zoltán. Bereczki László felolvasta Szabó Zoltán laudációját, és Zelei Gábor átadta az emlékérmet. Szabó Zoltán köszönetet fejezte ki a díjért.

– Emléklap kitüntetést kapott Szabóné dr. Kilényi Éva, dr. Baráth István és Pályi András. A kitüntetések Zelei Gábor adta át.

– Az „év cikke” Meskó Attila-díjat Kuslits Lukács Benedek, míg az „év cikke” Csókás János-díjat dr. Vass Péter kapta. A díjakat Zelei Gábor adta át.

A kitüntetett cikkek:

Lukács Kuslits, István Lemperger, András Horváth, Dávid Koronczay, Viktor Wesztergom, 2020. Recent progress in identification of the geomagnetic signature of 3D outer core flows. Acta Geodaetica et Geophysica, 55, 347–370.

Vass Péter, Nuamah Daniel Oduru Boatey, 2020. Nem egyenközű hálózat szerint mintavételezett mágneses anomália pólusra redukálása inverziós Fourier-transzformációval. Magyar Geofizika, 61/2, 66–74.

Bereczki László megköszönte a Miskolci Egyetem egyesületi összekötőjének Kopcsa Józsefnek az egész éves munkáját.

Zelei Gábor felkérte a Szavazatszámoló Bizottság elnökét, Török Istvánt helyettesítő Bauer Mártont, hogy ismertesse a szünetben lezajlott szavazás eredményét.

Bauer Márton beszámolt a szavazásról: 19 szavazócédula került az urnába. Valamennyi érvényes volt, így 19 (100%) szavazatot kapott dr. Timár Gábor. A Magyar Geofizikusok Egyesületének alelnöke ezzel dr. Timár Gábor lett.

Bereczki László titkár gratulált a megválasztott alelnöknek, és megköszönte a jelenlegi, és immár leköszönő elnöknek, Zelei Gábornak az elmúlt időszakban végzett eredményes munkáját. Felkérte Zelei Gábor elnököt, hogy cseréljen helyet a következő elnökkel, Kovács Attila Csabával.

Kovács Attila Csaba is köszönetet mond Zelei Gábornak eddigi munkájáért, és egyúttal megköszöni Magyar Balázs leköszönő alelnöknek is – aki sajnos családi okokból nem tudott jelen lenni a közgyűlésen – a 6 és fél éven keresztül az Egyesületért végzett áldozatos munkáját, majd felkérte a jelenlévőket, hogy hallgassák meg együtt a Bányászhimnusz, és ezzel a közgyűlés hivatalos részét lezárta.

Hegedűsné Petró Erzsébet

Tisztelet az éveknek

Az a tapasztalatunk, hogy az egyesületi élet motorjai az idősebb korosztályhoz tartoznak. Ők tudják, hogy az összetartozás, együttműködés nagyon fontos része életünknek. Ha feladat van, segítség kell, rájuk mindig lehet számítani.

Ezért is köszöntjük e lapok hasábjain minden évben a kerek születésnapot ünneplő tagtársainkat. A járványveszély miatt az elmúlt évben kevés lehetőség adódott a találkozásra.

A járványveszély sajnos még mindig nem múlt el, továbbra is a „Maradj otthon” jelszó irányítja életünket. Különösen az idősebbek vannak veszélyben. Pedig hiányzik nagyon a személyes együttlét, találkozás, a beszélgetés,

a közös kirándulás. Nagyon reméljük, hogy az újonnan megválasztott elnökségnek sikerül a hagyományos működést visszahozni, a szakmai, konferenciákat, előadásteket és a baráti találkozókat újra megrendezni.

Ennek reményében kívánunk Önöknek jó egészséget, sok örömet, érdeklődést, forgassák az Egyesület kiadványait, és – amint lehet – jöjjenek el összejöveteleinkre. Ha lehetőség adódik, kapcsolódjanak be a közös munkába, vegyenek részt az egyesületi életben, és közben vigyázzanak Magukra és szeretteikre!

Tisztelettel,

Hegybíró Zsuzsanna
az MGE nevében

95. születésnapját ünnepli

Dank Viktor

90. születésnapját ünnepli

Gereben László, Vados István, Ujfalusy Antal

85. születésnapját ünnepli

Balla Kálmán, Baráth István

80. születésnapját ünnepli

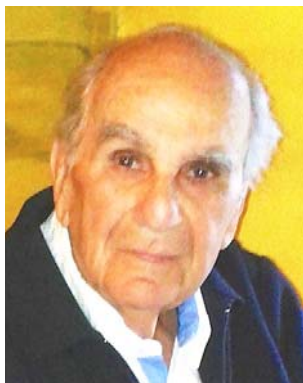
Bihari László, Bodoky Tamás, Czifra Ferenc, Kováts Zsombor,
Mészáros Ferenc, Ónodi Tibor, Simon András

75. születésnapját ünnepli

Dávid Gyula, Draskovits Pál, Formánné Gulyás Csilla, Juhász Sándor,
Mód Gábor, Szendrő Dénes, Tóth Csaba, Tóth Péter, Verbőci József

70. születésnapját ünnepli

Lakatos Béla, Magyar Balázs



Dank Viktor



Gereben László



Vados István



Ujfalusy Antal



Balla Kálmán



Baráth István



Bihari László



Bodoky Tamás



Czifra Ferenc



Kováts Zsombor



Mészáros Ferenc



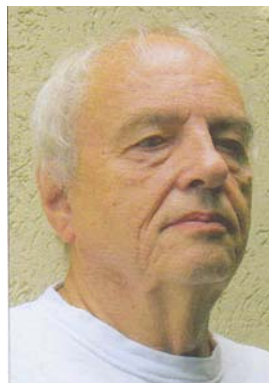
Ónodi Tibor



Simon András



Szendrő Dénes



Tóth Csaba



Verbóci József



Magyar Balázs

Schumann-rezonancia-mérések modellezése inhomogén hullámvezetőre

PRÁCSEER E.[@], BOZÓKI T.

Földfizikai és Űrtudományi Kutatóintézet (ELKH FI),
H-9400 Sopron, Csatkai E. u. 6–8.
[@]E-mail: pracser@ggki.hu

Ebben a tanulmányban egy analitikus és egy numerikus számítási módszert ismertetünk az elektromágneses hullámterjedés modellezésére a Föld-ionoszféra hullámvezetőben. A modellezés az extrém alacsony frekvenciák esetére érvényes (<100 Hz), és figyelembe veszi az ionoszféra magasságának az eltérését a Föld nappali és éjszakai oldalán. Numerikus teszteken mutatjuk meg, hogy a kétféle megközelítés gyakorlatilag ugyanazt az eredményt adja, a közöttük lévő relatív eltérés kevesebb mint 0,4%. Ez az eredmény hozzájárul ahhoz, hogy a Schumann-rezonancia-mérések alapján következtetni tudjunk a globális zivatarvekenység eloszlására és intenzitására.

Prácsere, E., Bozóki, T.: Modeling of Schumann resonance measurements for nonuniform waveguide

In this article, we present an analytical and a numerical approach to model the electromagnetic wave propagation in the lowest part of the extremely low frequency band (<100 Hz) that takes into consideration the day–night asymmetry of the Earth–ionosphere cavity. We present numerical tests showing that the two models produce practically the same output, i.e., the relative difference between them is less than 0.4%. Our result is an important step toward inferring the distribution and intensity of global lightning activity based on Schumann resonance measurements.

Beérkezett: 2021. július 12.; elfogadva: 2021. augusztus 31.

Bevezetés

Már a huszadik század elején felvetették annak a lehetőségét, hogy az elektromosan jó vezetőnek számító Föld, a szintén jól vezető ionoszféra és a közöttük levő térrész a kis frekvenciájú elektromágneses hullámok (100 Hz alatt) számára egy hullámvezetőt képeznek. Ezzel az elsők között W. O. Schumann foglalkozott (Schumann 1952), ezért a jelenséget Schumann-rezonanciának (SR) hívják. A vizsgált elektromágneses hullámokat a Föld különböző helyein előforduló villámok keltik, ezért a SR-mérések a globális zivatarvekenységről adnak információt. A Föld-ionoszféra hullámvezető fizikai tulajdonságaival számos publikáció foglalkozott (Madden, Thompson 1965, Nicksolaenko 1997, Price et al. 2006, Polk 1982, Satori et al. 2002).

A hullámterjedés matematikai modellezésekor kezdetben állandó magasságú ionoszférát, azaz homogén hullámvezetőt feltételeztek (Wait 1962). Később készültek analitikus és numerikus modellezések változó magasságú iono-

szférára, inhomogén hullámvezetőre is (Kirillov et al. 1997, Galuk et al. 2018). Az analitikus számítás transzcendens függvényeket tartalmazó végtelen sorok alakjában adja meg az elektromágneses térkomponenseket. Ekkor hibák léphetnek fel azért, hogy a végtelen sorokat végesszel közelítjük, továbbá a transzcendens függvényeknek a numerikus számításánál is lehetnek pontatlanságok, mivel általában azokat is egy végtelen sor állítja elő. A numerikus megoldásnál a feladatot egy, a Földgömb felszínén definiált ráccsal diszkrétizáljuk, ami szintén hibaforrás lehet. Ezért mindkét számítás megbízhatóságát növeli, ha megmutatjuk, hogy ezek a számítások egymáshoz nagyon közeli eredményeket adnak.

A numerikus számítás a modellező rács elemeihez tartozó ionoszféra-magasságok tetszőleges eloszlására alkalmazható. Az analitikus modellezés csak olyan speciális esetekre érvényes, amikor a különböző ionoszféra-magasságú tartományok határa a $\theta = c$ (ahol c egy állandó) egyenlettel adható meg. Esetünkben egy nappal–éjszaka határvonal választ el két tartományt.

A hullámterjedés modellezése a Föld-ionoszféra hullámvezetőben

Az ionoszféra Föld feletti magassága lényegesen kisebb, mint a Föld sugara, és ez a magasság a hullámhosszhoz képest is elhanyagolható. Ezért a Föld és az ionoszféra közötti térrész egy kétdimenziós hullámvezetőnek tekinthető, amely csupán két fizikai paraméterrel jellemezhető. Ezek a hullám terjedési irányába eső Z impedancia és a Föld és az ionoszféra közötti Y átvezetés. Az ionoszféra magassága és az ionoszféra, a Föld, valamint a levegő vezetőképesége az impedancián és az átvezetésen keresztül vannak hatással a hullámterjedésre. Az ionoszféra magassága egy komplex számmal jellemezhető, melynek a képzetes része 0-tól különböző. Ez a 0-tól különböző képzetes rész jellemzi az elektromágneses hullám csillapodását. Az impedanciát és az átvezetést különböző, frekvenciafüggő ionoszféra-magasságokkal (h_i és h_c) számítjuk. Ezeknek a magasságoknak a számításával a szakirodalom részletesen foglalkozik (Pechony, Price 2004, Kulak, Mlynarczyk 2013). Az elmélet ismertetésekor matematikai gömbkoordináta-rendszert használunk, a tesztknél viszont földrajzi koordináta-rendszert. Számításaink során azt feltételezzük, hogy az elektromágneses térkomponensek időfüggése $e^{i\omega t}$, ahol t az idő és ω a körfrekvencia.

A Föld és az ionoszféra közötti V feszültség és az \mathbf{i} áram-sűrűség kapcsolatát a

$$\text{grad}V = -Z\mathbf{i}, \quad (1a)$$

$$\text{div}\mathbf{i} = -Y[V + V_s\delta(P)] \quad (1b)$$

differenciálegyenletek adják meg, ahol V_s a forrás helyén fellépő feszültségimpulzus nagysága, $\delta(P)$ Dirac-delta a Föld felszínén van értelmezve, és P a forrás helyét jelenti. Az egységnyi területre eső Z impedancia az L induktivitáson keresztül függ a frekvenciától és a h_i ionoszféra-magasságtól a

$$Z = i\omega L, \quad L = \mu h_i$$

képletek szerint, ahol μ a mágneses permeabilitás. Hasonló képletek érvényesek az Y átvezetésre is,

$$Y = i\omega C, \quad C = \varepsilon/h_c,$$

ahol C a kapacitássűrűség. Az (1) egyenletekből levezethető a feszültséget meghatározó parciális differenciálegyenlet:

$$\text{div}(1/L)\text{grad}V + \omega^2 CV = -\omega^2 CV_s\delta(P). \quad (2)$$

Ez a kétdimenziós távíróegyenlet frekvenciatartománybeli megfelelője. A (2) egyenlet gömbkoordinátákkal:

$$\frac{1}{r^2 \sin\theta} \frac{\partial}{\partial\theta} \left(\frac{\sin\theta}{L} \frac{\partial}{\partial\theta} V \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2\theta} \frac{\partial}{\partial\phi} \left(\frac{1}{L} \frac{\partial}{\partial\phi} V \right) + \omega^2 CV = -\omega^2 CV_s\delta(P), \quad (3)$$

ahol r a Föld sugara. A (3) egyenletet fogjuk tehát megoldani numerikusan és analitikusan. Az elektromos térerősség

függőleges komponense egyszerűen számítható a feszültségből,

$$E_r = V/h_c. \quad (4)$$

A mágneses térerősség komponensei az áram-sűrűségvektor komponenseiből számíthatók a

$$H_\phi = -i_\theta, \quad H_\theta = i_\phi \quad (5)$$

képletek szerint (Kirillov et al. 1997, Kirillov, Kopeikin 2002). Figyelembe véve az (1a) képletet,

$$H_\theta = -\frac{1}{rZ \sin\theta} \frac{\partial}{\partial\phi} V, \quad (6)$$

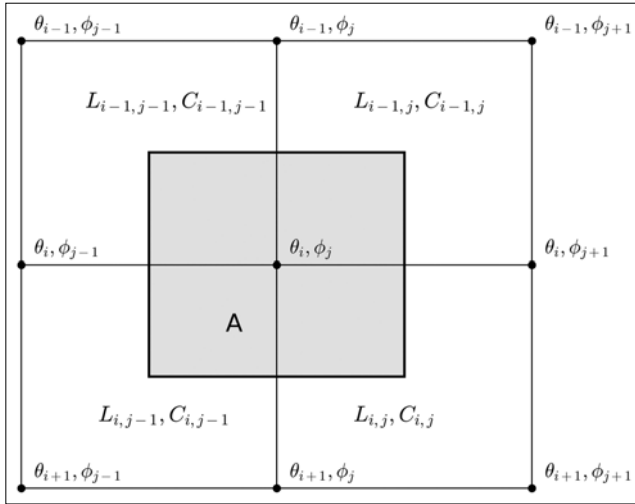
$$H_\phi = \frac{1}{rZ} \frac{\partial}{\partial\theta} V. \quad (7)$$

A feszültséget meghatározó differenciálegyenlet numerikus megoldása

A (3) egyenlet numerikus megoldására már van példa a szakirodalomban (Galuk et al. 2018). Abban a cikkben az egyenletet az eredeti alakjában diszkretizálják, a véges különbségek módszerét alkalmazva. Itt mi most egy másikat választunk, melyet a szakirodalomban a véges térfogatok módszerének vagy boxmódszernek is neveznek (Stoyan, Takó 1997). Előnye, hogy nincs szükség a második deriváltak differenciahányadosokkal való közelítésére. Ezt a módszert alkalmazták már a geofizikában a potenciál számítására, az egyenáramú mérésekhez, kétdimenziós geoelektromos modellek esetére (Dey, Morrison 1979). Az általunk alkalmazott numerikus algoritmus két fontos szempontból is különbözik ettől a megoldástól. Egyrészt bonyolultabb, hiszen most gömbkoordinátákkal kell számolni. Másrészt viszont egyszerűbb, nem kell ugyanis foglalkozni a tartomány határain a peremfeltételekkel, mivel a gömb felülete véges, és nincsenek határvonalai. A gömb felszínét a θ és ϕ koordináták mentén felosztjuk, azaz egy rácsot hozunk létre ($\theta_i, \phi_j, i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, M$). Az egységnyi felületre eső induktivitás és a kapacitás értéke mindegyik rácselemen belül állandó. A feszültséget a rács csomópontjaiban határozzuk meg. Az (i, j) csomópont-hoz tartozó feszültség $V_{i,j}$. A rács gömbi négyzetekből áll, kivétel a pólusok környezete, ahol a rács elemei gömbháromszögek. A (2) egyenlet diszkretizálásához vegyük annak az integrálját egy A tartományon (1. ábra), és alkalmazzuk a Gauss-tételt,

$$\int_{\delta A} \frac{1}{L} \mathbf{n} \text{grad}V \, dl + \iint_A \omega^2 CV \, ds = -\iint_A \omega^2 CV_s \delta(P) \, ds. \quad (8)$$

δA jelenti az A tartomány határát, \mathbf{n} az erre merőleges normálvektor. A (8) képlet első tagja az 1. ábra A tartományán differenciahányadosokkal,



1. ábra | A Föld felszínének diszkrétizálása
Figure 1 | Discretization of the Earth's surface

$$\begin{aligned}
& \frac{1}{2} \left(\frac{1}{L_{i-1,j-1}} + \frac{1}{L_{i-1,j}} \right) \frac{V_{i,j} - V_{i-1,j}}{\Delta\theta} \sin\left(\theta_{i-1} + \frac{1}{2}\Delta\theta\right) \Delta\phi \\
& + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{L_{i,j-1}} + \frac{1}{L_{i,j}} \right) \frac{V_{i+1,j} - V_{i,j}}{\Delta\theta} \sin\left(\theta_i + \frac{1}{2}\Delta\theta\right) \Delta\phi \\
& + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{L_{i,j-1}} + \frac{1}{L_{i+1,j-1}} \right) \frac{V_{i,j} - V_{i,j-1}}{\Delta\theta} \sin\theta_i \Delta\phi \\
& + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{L_{i,j}} + \frac{1}{L_{i+1,j}} \right) \frac{V_{i,j+1} - V_{i,j}}{\Delta\theta} \sin\theta_i \Delta\phi.
\end{aligned} \quad (9)$$

A (8) egyenlet második tagja,

$$\begin{aligned}
& \omega^2 V_{i,j} r^2 \frac{1}{4} \Delta\theta \Delta\phi \left[\sin\left(\theta_{i-1} + \frac{1}{2}\Delta\theta\right) C_{i-1,j-1} \right. \\
& + \sin\left(\theta_{i-1} + \frac{1}{2}\Delta\theta\right) C_{i-1,j} + \sin\left(\theta_i + \frac{1}{2}\Delta\theta\right) C_{i,j-1} \\
& \left. + \sin\left(\theta_i + \frac{1}{2}\Delta\theta\right) C_{i,j} \right]. \quad (10)
\end{aligned}$$

Itt az A tartományon a potenciál értékét állandónak tekintettük. A rács elemeinek a mérete $\Delta\theta = \Delta\phi = 1^\circ$ ($N = 180$, $M = 360$). A (8) jobb oldalának az A -n vett integrálja csak azon rácpontban különbözik 0-tól, ahol a forrás van. Például, ha a forrás a θ_k, ϕ_l koordinátájú pontban van, ez az érték:

$$\omega^2 \frac{1}{4} (C_{k-1,l-1} + C_{k-1,l} + C_{k,l-1} + C_{k,l}) V_s. \quad (11)$$

Figyelembe vettük, hogy a Dirac-delta-függvény integrálja 1. A (9), (10) és (11) képletek lineáris kapcsolatot határoznak meg a $V_{i,j}$ feszültség, és a szomszédos csomópontokhoz tartozó feszültségértékek között. Minden rácpont-ra felírva ezt a lineáris kapcsolatot a rácpontokhoz tartozó feszültségértékekre kapunk egy lineáris egyenletrendszert,

$$\mathcal{A} \mathbf{v} = \mathbf{f}. \quad (12)$$

A \mathbf{v} vektor az összes rácpont-hoz tartozó $V_{i,j}$ feszültségértéket tartalmazza, az \mathbf{f} vektornak csak a forrásnak megfelelő eleme különbözik 0-tól. Az \mathcal{A} mátrix mérete 64442×64442 , az egyenletrendszer megoldása a szabadon elérhető MUMPS algoritmussal történik (Amestoy et al. 2001).

A forrás helye lehet a rács valamelyik csomópontja. A mérés helye viszont tetszőleges lehet, eshet csomópontok közé is. Tegyük fel, hogy a θ, ϕ koordinátákra érvényesek a

$$\theta_i \leq \theta < \theta_{i+1}, \quad \phi_j \leq \phi < \phi_{j+1} \quad (13)$$

egyenlőtlenségek, ahol θ_i, ϕ_j a rács csomópont-koordinátái. Ekkor a feszültség a

$$V(\theta, \phi) = \sum_{k=0}^3 \sum_{l=0}^3 c_{k,l} P_k(\cos\theta) \cos(l\phi) \quad (14)$$

képlettel számítható. A $c_{k,l}$ együtthatók a rácpontokhoz tartozó feszültségértékekből számíthatóak ($V_{m,n}$, $m = i-1, \dots, i+2$, $n = j-1, \dots, j+2$). A mágneses térkomponensek ((6), (7) képletek) a (14) deriválásával már egyszerűen meghatározhatóak.

Analitikus megoldás

Kirillov és szerzőtársai (Kirillov et al. 1997) is a (2) egyenletből indultak ki, és levezették a Föld-ionoszféra hullámvezetőben kialakuló feszültségre vonatkozó képletet, figyelembe véve a különböző ionoszféra-magasságokat nappal és éjszaka. Az általuk kapott képletekre most egy másik levezetést adunk, amely eltérő matematikai alapokon nyugszik, és külön tárgyaljuk a forrás és az észlelés helyéből adódó különbségeket. Az utóbbi azt jelenti, hogy a forrás is és az észlelés is eshet a Föld nappali és az éjszakai oldalára, azaz négyféle lehetőség van. A levezetés során annak is fontos szerepe lesz, hogy a forrás és az észlelés θ koordinátái hogyan viszonyulnak egymáshoz. Valamennyi esetre közöljük a feszültséget meghatározó képletet. Homogén hullámvezetőre egyszerűbb az elektromágneses térkomponensek számítása, először erre az esetre vezetjük le a megoldást, és utána térünk át az inhomogén esetre.

Homogén hullámvezető

Tekintsük most az ionoszféra magasságát állandónak, ami azt jelenti, hogy az egységnyi terület kapacitása és induktivitása állandó. Ekkor a (2) egyenletet megszorozhatjuk L -lel,

$$\text{div grad} V + \omega^2 L C V = -\omega^2 L C V_s \delta(P). \quad (15)$$

A gyakorlatban a forrás intenzitását az I_s áramimpulzus nagyságával szokás jellemezni, ezért felhasználva a feszültség és az áram közötti

$$V_s = I_s \frac{1}{i\omega C} = I_s \frac{h_c}{i\omega \mathcal{E}}, \quad (16)$$

összefüggést, a feszültséget meghatározó (15) egyenletben módosítjuk a forrástagot,

$$\operatorname{div} \operatorname{grad} V + \omega^2 L C V = -\omega^2 L C \frac{I_s h_c}{i \omega \varepsilon} \delta(P). \quad (17)$$

Bevezetjük a ν komplex változót, amelyre

$$\nu(\nu + 1) = \omega^2 r^2 L C. \quad (18)$$

Feltételezzük továbbá, hogy a forrás a póluson van ($\theta = 0$). Ekkor feszültség csak a θ koordinátától függ, így az azt meghatározó (17) differenciálegyenlet gömbkoordinátákkal felírt alakjában nem szerepel a ϕ szerinti derivált,

$$\frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial}{\partial \theta} V \right) + \frac{\nu(\nu + 1)}{r^2} V = -\frac{\nu(\nu + 1)}{r^2} \frac{I_s h_c}{i \omega \varepsilon} \delta(P).$$

Alkalmazzuk az $x = \cos \theta$ helyettesítést! Ekkor az egyenlet a

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left((1-x^2) \frac{\partial}{\partial x} V \right) + \nu(\nu + 1) V \\ = -\nu(\nu + 1) \frac{I_s h_c}{i \omega \varepsilon} \delta(P) \end{aligned} \quad (19)$$

alakot ölti. Ez a Legendre-egyenlet, amelynek a megoldása lehet $cP_\nu(\cos \theta)$ vagy $cP_\nu(-\cos \theta)$, ahol P_ν a Legendre-függvény, és c egy később meghatározandó állandó. Itt most a $cP_\nu(-\cos \theta)$ jöhet szóba, mivel annak van szingularitása a forrás helyén ($\theta = 0$). A c szorzó meghatározásához három ténytet kell figyelembe venni:

- 1: a (19) egyenletben a Dirac- δ előtti szorzót,
- 2: ha $\theta \ll 1$, akkor (Wait 1962)

$$P_\nu(-\cos \theta) \approx \frac{2}{\pi} \sin \nu \pi \log \theta,$$

- 3: ha $\theta \ll 1$, akkor a $\theta = 0$ pont környezete síknak tekinthető, és a síkbeli

$$\Delta U(x, y) = \delta(0, 0) \quad (20)$$

Laplace-egyenlet megoldása

$$U(x, y) = \frac{1}{2\pi} \log \sqrt{x^2 + y^2}. \quad (21)$$

Az így meghatározott feszültség értéke megegyezik a szakirodalomból (Wait 1962) is ismert képlettel,

$$V(\theta) = \frac{i I_s h_c \nu(\nu + 1)}{4 \omega \varepsilon r^2 \sin(\nu \pi)} P_\nu(-\cos \theta). \quad (22)$$

Mivel a forrás a $\theta = 0$ pontban van, a (22) képlet azt is jelenti, hogy a feszültség a forrás és a mérés szögtávolságának függvénye. Ezáltal lehetővé válik, hogy arra az esetre is felírjuk a feszültség képletét, amikor a forrás és a mérés helye a Föld tetszőleges pontjára esik. Ekkor alkalmazva a gömbháromszögekre vonatkozó koszinusztételt megkapjuk a forrás és a mérés γ szögtávolságát,

$$\cos \gamma = \cos \theta' \cos \theta + \sin \theta' \sin \theta \cos(\phi' - \phi). \quad (23)$$

A vesszővel jelölt koordináták a forrás koordinátái, a vessző nélküliek a mérés helyére vonatkoznak. Ha a (22) képletben a θ helyébe γ -t írunk, megkapjuk a feszültség értékét tetszőleges forrás-, mérés helyre. A Legendre-függvényt számíthatjuk a

$$\frac{P_\nu(-x)}{\sin(\nu \pi)} = -\frac{1}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{2n+1}{n(n+1) - \nu(\nu+1)} P_n(x)$$

sorfejtéssel (Erdélyi 1953, Wait 1962), ahol P_n az n -edik Legendre-polinom. Ennek a képletnek az előnye az egyszerű programozhatósága, hátránya a lassú konvergencia. A Legendre-függvény számítható a hipergeometrikus függvénnyel is (Erdélyi 1953),

$$P_\nu(-x) = F(-\nu, \nu+1, 1, \frac{1+x}{2}). \quad (24)$$

A számításaink során ezt a képletet alkalmaztuk.

Inhomogén hullámvezető

A cél az, hogy arra az esetre számítsuk ki a feszültség értékét, amikor az ionoszféra magassága különböző a Föld nappali és éjszakai oldalán. Első lépésként egy újabb képletet adunk meg a feszültségre állandó ionoszféra-magasságra, és tetszőleges forrás-, mérés koordinátákra, majd ezt módosítjuk az eltérő nappali és éjszakai ionoszféra-magasság esetére. A forrás gömbkoordinátái: (θ' , ϕ'). Ekkor a V feszültség nemcsak a θ -tól, hanem ϕ -tól is függeni fog. A feszültséget meghatározó (17) egyenletet a változók szétválasztásával oldjuk meg,

$$V(\theta, \phi) = V_t(\theta) V_p(\phi). \quad (25)$$

A V_p -t meghatározó egyenlet:

$$\frac{\partial^2}{\partial \phi^2} V_p = -\mu V_p. \quad (26)$$

$V_p(\phi)$ egy 2π szerint periodikus függvény, és ehhez az kell, hogy a μ szeparációs változó egy egész szám legyen ($\mu = m^2$, $m = 0, 1, 2, \dots$). Így minden m -re lesz egy $V_t^{(m)}$ és egy $V_p^{(m)}$ megoldás,

$$V_p^{(m)} = \cos(m(\phi - \phi')). \quad (27)$$

A $V_t^{(m)}$ -et meghatározó egyenlet

$$\frac{\partial}{\partial x} \left((1-x^2) \frac{\partial}{\partial x} V_t^{(m)} \right) + \left(\nu(\nu+1) - \frac{m^2}{1-x^2} \right) V_t^{(m)} = 0 \quad (28)$$

alakban írható fel. (28) megoldásai a $P_\nu^m(\cos \theta)$ és $P_\nu^m(-\cos \theta)$ csatolt Legendre-függvények. A P_ν^m Legendre-függvénynek -1 -nél szingularitása van, ez fogja meghatározni, hogy a koszinuszfüggvény mikor szerepel az argumentumban pozitív, illetve negatív előjellel. A feszültséget meghatározó általános képlet az összes partikuláris megoldás összege,

$$V = c \sum_{m=0}^{\infty} (c_{1,m} P_V^m(\cos\theta) + c_{2,m} P_V^m(-\cos\theta)) \cos(m(\phi - \phi')) \quad (29)$$

A képletben szereplő, egyelőre még ismeretlen c , $c_{1,m}$, $c_{2,m}$ szorzótényezők meghatározásához alkalmazzuk a Legendre-függvényekre vonatkozó addíciós képletet (Erdélyi 1953),

$$\begin{aligned} & P_V(-\cos\theta \cos\theta' - \sin\theta \sin\theta' \cos(\phi - \phi')) \\ &= \sum_{m=0}^{\infty} \varepsilon_m (-1)^m \frac{\Gamma(\nu - m + 1)}{\Gamma(\nu + m + 1)} \\ & \times P_V^m(-\cos\theta) P_V^m(\cos\theta') \cos(m(\phi - \phi')), \end{aligned} \quad (30)$$

ahol

$$\varepsilon_m = \begin{cases} 1, & \text{ha } m = 0, \\ 2, & \text{ha } m > 0. \end{cases}$$

A (30) képlet bal oldalán a Legendre-függvény argumentumában a gömbháromszögekre vonatkozó koszinusztétel értelmében a forrás és az észlelési hely szögtávolsága szerepel. Ez azt jelenti, hogy a (22) képletben szereplő Legendre-függvény kifejezhető a (30) sorfejtéssel is. Így a (22) és az addíciós képlet együttesen megadják az állandó ionoszféra-magasság esetén érvényes feszültséget tetszőleges helyen levő forrás esetére a (29) képletben levő sorfejtéssel. Ezáltal az ott szereplő ismeretlen együtthatókat is megkapjuk. Az addíciós képletben θ és θ' felcserélhető. Ha $\theta < \theta'$, akkor az addíciós képletnek azt a változatát kell alkalmazni, amikor a mérés θ koordinátája $P_V^m(\cos\theta)$ -ban jelenik meg, hiszen a $\theta = 0$ pólusban nem lehet szingularitás,

$$\begin{aligned} V &= \frac{i I_s h_c \nu (\nu + 1)}{4 \omega \varepsilon r^2 \sin(\nu \pi)} \\ & \times \sum_{m=0}^{\infty} b_{1,m} P_V^m(\cos\theta) \cos(m(\phi - \phi')). \end{aligned} \quad (31)$$

A $b_{1,m}$ együttható:

$$b_{1,m} = \varepsilon_m (-1)^m \frac{\Gamma(\nu - m + 1)}{\Gamma(\nu + m + 1)} P_V^m(-\cos\theta'). \quad (32)$$

Ha $\theta > \theta'$, akkor a P_V^m argumentumában a $\cos\theta$ előjele negatív kell legyen, hiszen a $\theta = \pi$ pólusban nem lehet szingularitás. Ekkor az addíciós képlet másik változata szerint,

$$\begin{aligned} V &= \frac{i I_s h_c \nu (\nu + 1)}{4 \omega \varepsilon r^2 \sin(\nu \pi)} \\ & \times \sum_{m=0}^{\infty} b_{2,m} P_V^m(-\cos\theta) \cos(m(\phi - \phi')), \end{aligned} \quad (33)$$

$$b_{2,m} = \varepsilon_m (-1)^m \frac{\Gamma(\nu - m + 1)}{\Gamma(\nu + m + 1)} P_V^m(\cos\theta'). \quad (34)$$

A (31) és a (33) képletek is megadják tehát a feszültség értékét állandó ionoszféra magasságra. Mindkét képlet a (29) képlet speciális esete.

A (29) képlet nemcsak abban az esetben alkalmazható a feszültség számítására, amikor az ionoszféra magassága a Föld teljes felszínén állandó, hanem akkor is, amikor a Föld felszíne olyan tartományokra bontható amelyeken belül állandó az ionoszféra magassága. Ebben az esetben úgy kell megválasztani a $c_{1,m}$ és $c_{2,m}$ együtthatókat az egyes tartományokon belül, hogy a tartományok határán a feszültség és az áramsűrűség-vektor határra merőleges komponense folytonos határátmenettel rendelkezzen. Ez megtehető, ha a Föld felszínét két tartományra, nappalira és éjszakra osztjuk fel. A Föld felszínén kétféle ν értéket adhatunk meg, a

$$\nu = \begin{cases} \nu_d, & \text{ha } \theta < \theta_t, \\ \nu_n, & \text{ha } \theta \geq \theta_t, \end{cases} \quad (35)$$

képlettel. $\theta_t \approx 90^\circ$ a nappal-éjszaka határt adja meg. A Föld nappali és éjszakai tartományát akkor lehet így megadni, ha a koordináta-rendszer $\theta = 0$ pontja megegyezik a Nap helyével. Tegyük fel most, hogy a forrás a napos oldalon $\theta' < \theta_t$ van. Ekkor a c állandó a (29) képletben,

$$c = \frac{i I_s h_c^{(d)} \nu_d (\nu_d + 1)}{4 \omega \varepsilon r^2 \sin(\nu_d \pi)}, \quad (36)$$

a csatolt Legendre-függvények indexe ((29) képlet) ν_d vagy ν_n aszerint, hogy az észlelés nappali vagy az éjszakai tartományra esik. A (29) képlet két tag összegére bontható. Az egyik azt adja meg, hogy mi lenne akkor, ha az éjszakai ionoszféra-magasság megegyezne a nappalival, a másik pedig a megváltozott éjszakai ionoszféra-magasság hatása. Az észlelés helye szerint három esetet különítünk el,

a: $\theta \leq \theta'$

$$c_{1,m} = b_{1,m} + R_m, \quad (37)$$

$$c_{2,m} = 0. \quad (38)$$

Ha $c_{2,m}$ 0-tól különbözne, akkor $\theta = 0$ -nál szingularitás lenne.

b: $\theta' < \theta \leq \theta_t$

$$c_{1,m} = R_m, \quad (39)$$

$$c_{2,m} = b_{2,m}. \quad (40)$$

Ez a tartomány nem tartalmazza sem a $\theta = 0$, sem a $\theta = \pi$ pontot, így mindkét együttható különbözhet 0-tól.

c: $\theta > \theta_t$

$$c_{1,m} = 0, \quad (41)$$

$$c_{2,m} = d_m. \quad (42)$$

Ha $c_{1,m}$ 0-tól különbözne akkor $\theta = \pi$ -nél szingularitás lenne.

A $b_{1,m}$ és $b_{2,m}$ együtthatók számításánál $\nu = \nu_d$. Az R_m és a d_m együtthatókat úgy kell meghatározni, hogy V és $(1/h_c)(\partial V(\theta)/\partial \theta)$ folytonos legyen a $\theta = \theta_t$ határon. Az utóbbi azt jelenti, hogy a θ irányú áramsűrűség a határon folytonosan megy át. Az R_m és d_m együtthatók a határátmeneti feltételek alapján számíthatóak,

$$R_m = -b_{2,m} \left[P_{\nu_d}^m(-\cos\theta_t) \frac{d}{dx} P_{\nu_n}^m(-\cos\theta_t) - \frac{h_t^{(n)}}{h_t^{(d)}} \frac{d}{dx} P_{\nu_d}^m(-\cos\theta_t) P_{\nu_n}^m(-\cos\theta_t) \right] \times \left[P_{\nu_d}^m(\cos\theta_t) \frac{d}{dx} P_{\nu_n}^m(-\cos\theta_t) + \frac{h_t^{(n)}}{h_t^{(d)}} \frac{d}{dx} P_{\nu_d}^m(\cos\theta_t) P_{\nu_n}^m(-\cos\theta_t) \right]^{-1}, \quad (43)$$

$$d_m = \frac{b_{2,m} P_{\nu_d}^m(-\cos\theta_t) + R_m P_{\nu_d}^m(\cos\theta_t)}{P_{\nu_n}^m(-\cos\theta_t)}. \quad (44)$$

Nyilvánvaló, hogy amennyiben az éjszakai ionoszféra magasság megegyezik a nappalival, speciális esetként megkapjuk azt a képletet, amelyik az állandó ionoszféramagasságra vonatkozik a nappali értékkel. Ekkor ugyanis $R_m = 0$ és $d_m = b_{2,m}$.

Ha a forrás az éjszakai félgömbön van, azaz $\theta' > \theta_t$, a c állandó a (29) képletben:

$$c = \frac{i I_s h_c^{(n)} \nu_n (\nu_n + 1)}{4 \omega \varepsilon r^2 \sin(\nu_n \pi)}. \quad (45)$$

A $b_{1,m}$ és a $b_{2,m}$ értékeket most $\nu = \nu_n$ -nel számítjuk. Az észlelés helye szerint ismét három esetet kell kezelni.

a: $\theta \geq \theta'$

$$c_{1,m} = 0, \quad (46)$$

$$c_{2,m} = b_{2,m} + R_m. \quad (47)$$

Ha $c_{1,m}$ nem lenne 0, akkor szingularitás lenne $\theta = \pi$ -nél.

b: $\theta' > \theta \geq \theta_t$

$$c_{1,m} = b_{1,m}, \quad (48)$$

$$c_{2,m} = R_m. \quad (49)$$

Ez a tartomány nem tartalmazza sem a $\theta = 0$, sem a $\theta = \pi$ pontot, így mindkét együttható különbözhet 0-tól.

c: $\theta \leq \theta_t$

$$c_{1,m} = d_m, \quad (50)$$

$$c_{2,m} = 0. \quad (51)$$

Ha $c_{2,m}$ nem lenne 0, akkor szingularitás lenne $\theta = 0$ -nál.

Ahhoz az esethez hasonlóan, amikor a forrás a nappali oldalon van, R_m és d_m számíthatóak a határfeltételekből:

$$R_m = -b_{1,m} \left[P_{\nu_n}^m(\cos\theta_t) \frac{d}{dx} P_{\nu_d}^m(\cos\theta_t) - \frac{h_t^{(d)}}{h_t^{(n)}} \frac{d}{dx} P_{\nu_n}^m(\cos\theta_t) P_{\nu_d}^m(\cos\theta_t) \right] \times \left[P_{\nu_n}^m(-\cos\theta_t) \frac{d}{dx} P_{\nu_d}^m(\cos\theta_t) + \frac{h_t^{(d)}}{h_t^{(n)}} \frac{d}{dx} P_{\nu_n}^m(-\cos\theta_t) P_{\nu_d}^m(\cos\theta_t) \right]^{-1}, \quad (52)$$

$$d_m = \frac{b_{1,m} P_{\nu_n}^m(\cos\theta_t) + R_m P_{\nu_n}^m(-\cos\theta_t)}{P_{\nu_d}^m(\cos\theta_t)}. \quad (53)$$

A komplex számsíkon értelmezett Euler-féle Gamma-függvényt Lánzos módszerével számítottuk (Lánzos 1964).

Koordinátatranszformáció

Az ismertett analitikus megoldás arra az esetre vonatkozik, amikor a Napnak a Földhöz viszonyított helye a koordináta-rendszer $\theta = 0$ pontja. A gyakorlatban viszont mind a források, mind a mérések koordinátái az északi sarkhoz viszonyított koordináta-rendszerben vannak megadva. Ezért koordinátatranszformációra van szükség. A képletekben az 1-es index jelenti az eredeti koordinátákat ($\theta_1 = 0$ az északi sark), az index nélküliek a transzformáltakat ($\theta = 0$ a Nap). Az s index a Nap pozícióját jelenti, az északi sarkhoz viszonyított rendszerben. A koordinátatranszformáció a gömbháromszögekre vonatkozó koszinusz- és szinusztételeken alapul:

$$\cos\theta = \cos\theta_s \cos\theta_1 + \sin\theta_s \sin\theta_1 \cos(\phi_s - \phi_1), \quad (54)$$

$$\sin\phi = \sin(\phi_s - \phi_1) [\sin\theta_1 / \sin\theta]. \quad (55)$$

A mágneses komponensek számításához szükség van a V feszültség θ_1 és ϕ_1 szerinti deriváltjaira ((6), (7) képletek). Ezeket a deriválás láncszabályával kapjuk meg,

$$\frac{\partial}{\partial \theta_1} V = \frac{\partial}{\partial \theta} V \frac{\partial \theta}{\partial \theta_1} + \frac{\partial}{\partial \phi} V \frac{\partial \phi}{\partial \theta_1}, \quad (56)$$

$$\frac{\partial}{\partial \phi_1} V = \frac{\partial}{\partial \theta} V \frac{\partial \theta}{\partial \phi_1} + \frac{\partial}{\partial \phi} V \frac{\partial \phi}{\partial \phi_1}. \quad (57)$$

Ezért szükség van θ és ϕ , θ_1 , illetve ϕ_1 szerinti deriváltjaira, amelyek az (54) és (55) képletek alapján számíthatóak.

Numerikus tesztek

Három különböző tesztet mutatunk be, melyek segítségével összehasonlítjuk a Föld-ionoszféra hullámvezetőben kialakuló elektromágneses térkomponensek kétféle számí-

tásának az eredményét. Mindegyik esetben az elektromágneses komponensek abszolút értékének a négyzetét ábrázoljuk. Ez a teljesítménysűrűség. A gyakorlatban az időtartományban végzett SR-mérések adatait is teljesítménysűrűséggé transzformálják. Az ionoszféra frekvenciafüggő komplex magasságát a szakirodalomból vettük (Kulak, Mlynarczyk 2013).

1. teszt

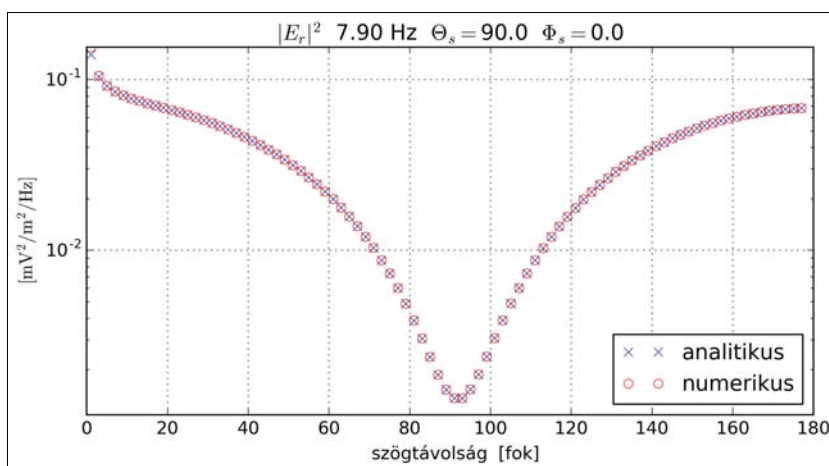
Elsőként állandó ionoszféramagasságra hasonlítjuk össze a kétféle számítás eredményét, és a (22) és (4) képletekkel meghatározott $|E_r|^2$ komponenst számítjuk ki.

A számítást 7,9 Hz-re, az első SR-frekvenciára végezzük el, és az eredményeket a forrástól való távolság függvényében ábrázoljuk (2. ábra). A forrás erőssége $6 \times 10^4 \text{ C}^2\text{km}^2/\text{s}$. Látható, hogy a kétféle számítás eredménye tel-

jesen egybeesik, csak a forrás közelében van egy minimális eltérés. A 2. ábra grafikonja jól mutatja az SR-mérések legfontosabb jellemzőit az első rezonanciafrekvenciára. 90° -nál minimuma van, és egy másodlagos maximuma a forrással ellentétes pólusban, azaz a forrástól 180° szögtávolságra.

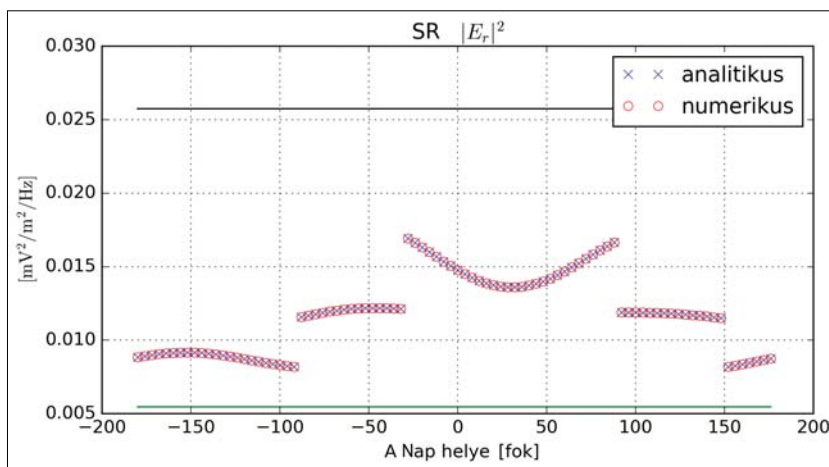
2. teszt

Most különböző nappali és éjszakai ionoszféra-magasságokkal – azaz inhomogén hullámvezetővel – számolunk, továbbra is 7,9 Hz-re. A forrás és a mérés helye rögzített, a Nap helye viszont az egyenlítő mentén változik. Ebből következik, hogy a nappal-éjszaka határvonal észak-dél irányú. Ennek a hatását mutatja a függőleges elektromos térkomponensre a 3. ábra és a θ irányú mágneses komponensre a 4. ábra. A forrás (10°N , 0°E , $6 \times 10^4 \text{ C}^2\text{km}^2/\text{s}$) és



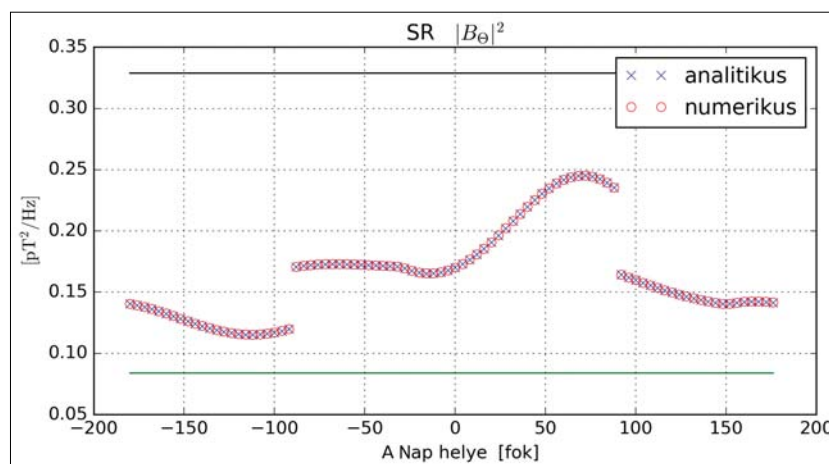
2. ábra | Az elektromos térerősség 7,9 Hz-re a forrástól való távolság függvényében analitikusan és numerikusan számítva, homogén Föld-ionoszféra hullámvezetőt feltételezve

Figure 2 | Electric field intensity at 7.9 Hz for a uniform Earth-ionosphere cavity as a function of distance from the source determined by our analytical and numerical models



3. ábra | Az elektromos térkomponens változása a Nap helyének függvényében, 7,9 Hz-re, inhomogén hullámvezető esetén, analitikus és numerikus modellezéssel. A kétféle számítás eltérése kevesebb mint 0.05%

Figure 3 | Electric field intensity at 7.9 Hz for the nonuniform Earth-ionosphere cavity as a function of the Sun's position determined by our analytical and numerical models. The two results agree within 0.05%



4. ábra | Megfelel a 3. ábrának, de itt a mágneses térerősség θ irányú komponense van ábrázolva. Az inhomogén modellhez tartozó számítások százalékos eltérése kevesebb mint 0,08%

Figure 4 | Same as Fig. 3 but for the θ component of the magnetic field intensity. Here the results of the two nonuniform models agree within 0.08%

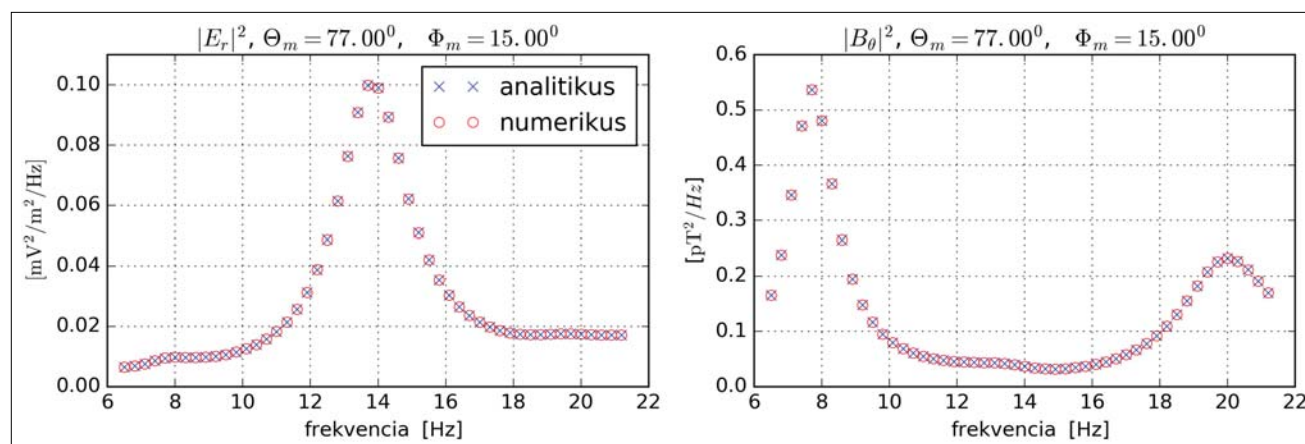
a mérés (70°N , 60°E) az északi félgömbön vannak. Összehasonlítás céljából homogén hullámvezetőre is kiszámítottuk a térértékeket kétféle ionoszféra magassággal. Mindkettőt egy vízszintes vonal jeleníti meg a 3. és 4. ábrán. A felső vonal arra az esetre vonatkozik, amelyet akkor mérnénk, ha mindenütt a nappali értéknek megfelelő ionoszféra-magasság lenne, az alsó vonal az éjszakai ionoszféra-magasságnak felel meg. Az inhomogén hullámvezetőhöz tartozó értékek ezen két vonal közé esnek. 7,9 Hz-nél a komplex ionoszféra-magasságok valós részei: $h_c^{(d)} = 53,1$ km, $h_i^{(d)} = 101,4$ km, $h_c^{(n)} = 62,5$ km és $h_i^{(n)} = 114,5$ km (Kulak, Mlynarczyk 2013).

A két különböző típusú modellszámítás eredménye most is egybeesik. Az elektromos térerősség görbéjének (3. ábra) akkor van szakadása, amikor a forrás vagy a mérés helye a nappal-éjszaka határra esik. A nappal-éjszaka határ a Nap helyéhez képest -90° és $+90^\circ$ -ra van, ezért a forrás (0°) akkor esik a nappal-éjszaka határra, ha a Nap a -90° vagy $+90^\circ$ -on van. A mérési helyre (60°) ez a két érték -30° és 150° . A mágneses komponensnek (4. ábra) nincs szakadása a nappal-éjszaka határvonalon, mivel az az (5)

képlet értelmében megegyezik a megfelelő áramsűrűség-komponenssel, amelynek nem lehet szakadása a nappal-éjszaka határon. Szakadás csak abban az esetben van, amikor a forrás esik a nappal-éjszaka határra (-90° , $+90^\circ$ Nappozíció).

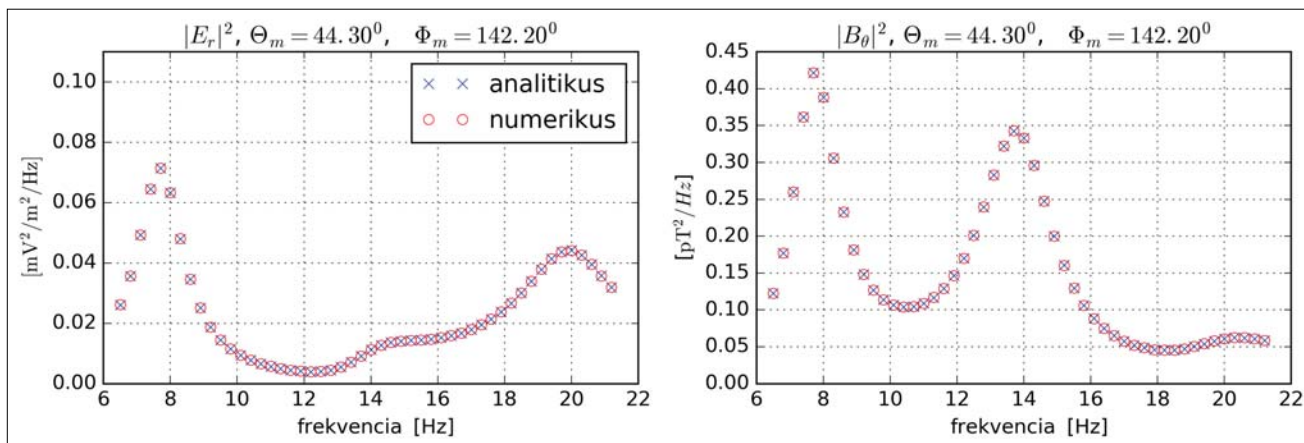
3. teszt

Végül a teljes adatspektrumra végezzük el a kétféle számítás összehasonlítását! Az adatokat úgy ábrázoljuk, ahogy a gyakorlati SR-méréseket szokták. A számításokat három forrás esetére végeztük el, melyeket úgy helyeztünk el, hogy megfeleljenek a Földön legnagyobb intenzitással előforduló zivatarok három kiemelt helyének. Ezeknek a földrajzi koordinátái (0° , 80°W), (7°S , 20°E) és (0° , 110°E), az intenzitások pedig 6×10^4 C²km²/s, 9×10^4 C²km²/s és 6×10^4 C²km²/s. A számításokat a Lengyel Tudományos Akadémia Horszund obszervatóriumának (77°N , 15°E) és a Japánban levő Moshiri SR-állomásnak ($44,3^\circ\text{N}$, $142,2^\circ\text{E}$) a koordinátaival végeztük el. Az 5. és 6. ábrán láthatóak



5. ábra | Az $|E_r|^2$ és $|B_\theta|^2$ térkomponensek modellezett spektrumjai a Horszund obszervatórium földrajzi koordinátáinál

Figure 5 | Modelled spectra for the $|E_r|^2$ and $|B_\theta|^2$ field components at the geographical coordinates of the Horszund observatory



6. ábra |Az $|E_r|^2$ és $|B_\theta|^2$ térkomponensek modellezett spektrumjai a Moshiri obszervatórium földrajzi koordinátáinál
 Figure 6 Modelled spectra for the $|E_r|^2$ and $|B_\theta|^2$ field components at the geographical coordinates of the Moshiri observatory

az $|E_r|^2$ és a $|B_\theta|^2$ térkomponensek spektrumértékei. Az adatok illeszkedése itt is nagyon jó, a teljes tartományban a relatív hiba kisebb mint 0,4%. A görbék lokális maximumai a várt SR-frekvenciáknál vannak, azaz ≈ 8 , ≈ 14 , ≈ 20 Hz-nél.

A rezonanciacsúcsok azokon a frekvenciákon jelennek meg, ahol az egymással szemben haladó hullámok fázisa megegyezik, tehát a direkt és a Földet megkerülő hullám egymást erősítik. Ez a jelenség okozza, hogy a Schumann-rezonancia-frekvenciáknál, az 5. és a 6. ábrán lokális maximumok jelennek meg. Vannak azonban kivételek, például az 5. ábrán az első rezonanciafrekvenciánál csak alig észrevehető a lokális maximum a $|E_r|^2$ komponens esetében. Ez azzal magyarázható, hogy a Horsund obszervatórium szögtávolsága mindhárom forráshoz viszonyítva 90° közeli, és 90° -nál $|E_r|^2$ -nek minimuma van, amint az a 2. ábrán látható. A $|B_\theta|^2$ -nek, viszont maximuma van az első rezonanciafrekvenciánál, mivel az a V feszültség hely szerinti deriválásából adódik. A második rezonanciafrekvenciánál pont fordított a helyzet.

Következtetések

Ebben a cikkben bemutatunk egy analitikus és egy numerikus algoritmust a villámlások által generált elektromágneses tér modellezésére az extrém alacsony frekvenciasáv alsó részében (<100 Hz). Mindkét számítás esetén figyelembe vettük az ionoszféra eltérő nappali és éjszakai magasságának a hatását a Föld-ionoszféra hullámvezető paramétereire. Három tesztet mutattunk be, amelyek alapján nyilvánvaló, hogy a kétféle algoritmus lényegében ugyanazokat az eredményeket adja, ami tekinthető az algoritmusok hitelesítésének is. Ki kell emelni, hogy a két algoritmus matematikailag teljesen független, így nemcsak az alkalmazott képletek helyessége, hanem azok megfelelő implementálása is igazolást nyert. A következő lépés az analitikus algoritmus alkalmazása lehet egy inverziós program moduljaként, amely SR-mérési adatok alapján becslést ad a zivatarok intenzitására a Föld felszínén. A numerikus

algoritmus is alkalmas lehet erre a feladatra, de a nagyobb számítási idő miatt ez kevésbé célszerű.

Köszönetnyilvánítás

A kutatást a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal – NKFIH K115836 sz. projektje támogatta.

A tanulmány szerzői

Prácser Ernő, Bozóki Tamás

Hivatkozások

- Amestoy P. R., Duff I. S., Koster J., L'Excellent J. Y. (2001): A fully asynchronous multifrontal solver using distributed dynamic scheduling. *SIAM Journal on Matrix Analysis and Applications*, 23/1, 15–41.
- Dey A., Morrison H. F. (1979): Resistivity modelling for arbitrarily shaped two-dimensional structures. *Geophysical Prospecting*, 27, 106–136.
- Erdélyi A. (1953): *Higher Transcendental Functions*. California Institute of Technology.
- Galuk Yu P., Nickolaenko M., Hayakawa M. (2018): Amplitude variations of ELF radio waves in the Earth-ionosphere cavity with the day-night nonuniformity. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 169, 23–36.
- Kirillov V. V., Kopeikin V. N. (2002): Solving a two-dimensional telegraph equation with anisotropic parameters. *Radiophysics and Quantum Electronics*, 45/12.
- Kirillov V. V., Kopeikin V. N., Mushtak V. K. (1997): ELF electromagnetic waves in the Earth-ionosphere waveguide channel. *Geomagnetism and Aeronomy*, 37/3, 341–345.
- Kulak A., Mlynarczyk J. (2013): ELF propagation parameters for the ground-ionosphere waveguide with finite ground conductivity. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 61/4.
- Lanczos C. (1964): A precision approximation of the gamma function. *J. Soc. Ind. Appl. Math. B Numer. Anal.*, 1/1, 86–89.
- Madden T., Thompson W. (1965): Low-frequency electromagnetic oscillation of the Earth-ionosphere cavity. *Reviews of Geophysics*, 3/2, 211–254.

- Nickolaenko A. P. (1997): Modern aspects of Schumann resonance studies. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 59/7, 805–816.
- Pechony O., Price C. (2004): Schumann resonance parameters calculated with a partially uniform knee model on Earth, Venus, Mars, and Titan. *Radio Sci.*, 39. DOI: 10.1029/2004RS003056.
- Polk C. (1982): *Handbook of Atmospherics*. CRC Press, Boca Ration.
- Price C., Pechony O., Greenberg E. (2006): Schumann resonances in lightning research. *Journal of Lightning Research*, 1, 1–15.
- Sátori G., Bencze P., Marcz F., Zieger B. (2002): A Föld-ionosféra hullámvezető vizsgálata. *Magyar Geofizika*, 43, 38–41.
- Schumann W. O. (1952): Über die Dämpfung der elektromagnetischen Eigenschwingungen des Systems Erde-Luft-Ionosphäre. *Zeitschrift für Naturforschung A*, 7/3–4, 250–252.
- Stoyan G., Takó G. (1997): *Numerikus módszerek III*. ELTE – TypoTEX.
- Wait J. R. (1962): *Electromagnetic Waves in Stratified Media*. Pergamon Press, Ltd.

A szeizmikus litoszférakutató szelvények felhasználása a nyírségi kutatásokban

KISS J.

Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (MBFSZ),
1145 Budapest, Columbus u. 17–23.
E-mail: kiss.janos@mbfsz.gov.hu

„A mélyföldtani kutatások geofizikai módszerekkel” téma¹⁾ keretében elővettünk olyan archív geofizikai adatokat, mint például a litoszférakutató szeizmikus méréseket (CELEBRATION-2000, és KISVÁRDA-2003 projektek), amelyeket az első beérkezések alapján tomografikusan dolgoztak fel. Az eltemetett vulkanitok miatt a meglehetősen bonyolult földtani felépítésű Nyírségben előrelépésre volt szükség, amit csak a geofizikai adatoktól várhattunk.

A szénhidrogén-kutató szeizmikus méréseknél nagyobb mélységet vizsgáló litoszférakutató szelvényektől a medencealjzat, a fedőképződmények és a köztük előforduló miocén vulkanitok elhelyezkedésének leképezését vártuk. A ritka mérési pontsűrűség miatt a várható felbontás nem túl jó, de a többi – gravitációs és mágneses – adat és azok feldolgozási eredményei együttes felhasználása új földtani értelmezésekre adnak lehetőséget.

Szeizmikus sebesség-mélységmetszetek, relatív sűrűség- és mágnesezettségi mélységmetszetek, valamint a fizikai paraméterek mélységi változásainak törvényszerűségeit együttesen figyelembe véve van még mit keresni. A jelen tanulmány a továbblépés eddigi részeredményeit mutatja be.

Kiss, J.: The use of deep seismic lithosphere profiles in the research of the Nyírség region

In the frame of “Deep geological research using geophysical methods” project, archive geophysical data such as the deep seismic profiles of the CELEBRATION-2000 and KISVÁRDA-2003 lithospheric projects processed by first arrival tomographic method were reused. Due to the buried volcanic rocks in the rather complex geological structure of Nyírség, a progress was needed, which could be expected only from geophysical data.

We expected from deep seismic profiles the mapping of the depth of the basement, and that of certain interfaces and the locations of Miocene volcanic formations within the sedimentary overburden, because they provide information from greater depths than industrial seismic measurements. The resolution is not very good due to the sparse measured point density, but together with the other data – gravity and magnetic – and their processing results they allow new geological interpretations.

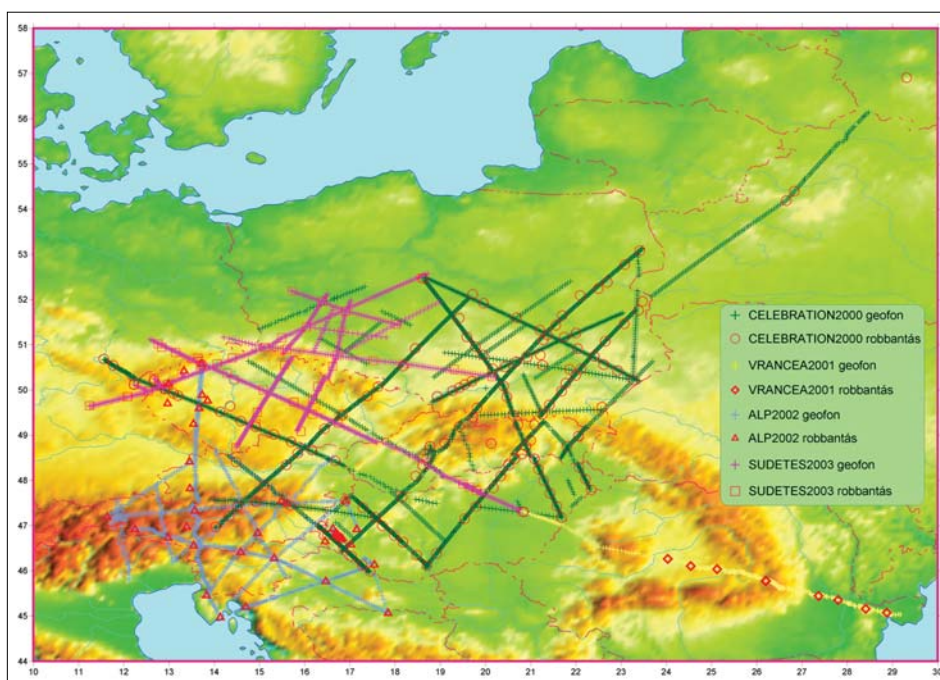
Considering seismic velocity depth sections, relative density and magnetization depth sections, and the regularities of depth variations of physical parameters we have tried to improve the previously known geological picture of the area. The paper presents the results achieved.

Beérkezett: 2021. július 24.; *elfogadva:* 2021. szeptember 15.

Előzmények

2000-es évek elején nemzetközi összefogással nagyszabású litoszférakutató program zajlott a térségben (1. ábra). Ebben a programban az MBFSZ egyik jogelődje, az ELGI is aktívan közreműködött. Hazánk területét elsősorban a CELEBRATION-2000 projekt érintette. A CELEBRATION-szelvények fedték le Magyarország területét szeizmikus mérésekkel (első beérkezési tomográfia²⁾).

A CEL litoszférakutató szeizmikus szelvények ritka hálóban fedik le az országot, áthaladnak ÉK-Magyarország területén is, a CEL04, és a CEL06 pedig konkrétan a Nyírség területén. A szelvények a litoszféra, illetve a kéreg kutatására fókuszáltak, arra a mélységtartományra, amelyről viszonylag kevés információ van. Noha a nagy mélységeknek, vagyis a litoszférának a kutatását célozták meg (Guterch et al. 2001, Hegedűs et al. 2002, Hegedűs 2005), érdemes más szempontok alapján is megvizsgálni az ered-



I. ábra Közép-európai litoszférakutató szeizmikus mérési háló (2000–2003)
Figure 1 Central European lithosphere exploration seismic monitoring network (2000–2003)

CELEBRATION-2000 projekt

Terepi mérés ideje (Date of field work):	2000
Adatok feldolgozása (Processing):	2001–2003
2D eredmények értelmezése (2D interpretation):	2001–2003
3D eredmények értelmezése (3D interpretation):	2002–2004
Publikációk, előadások (Publication, presentations):	2001–

Résztevő országok (Participating countries):

PL, HU, CZ, AT, SK, RUS, BEL, D, USA, CDN, TR, DK, FIN

ményeket. A CELEBRATION projekt keretében lemért, egymást keresztező szelvények (2. ábra) háromdimenziós feldolgozásra is lehetőséget adtak ÉK-Magyarországon egy 100×150 km-es területen.

„A felhasznált sugárutak száma 2600 és a 800 db P-hullám-beérkezés volt felhasználva (pikingelés) a 3D inverzióhoz (Zelt, Smith 1992, Zelt 1993). A kezdő sebességmodell a medencealjzat mélysége és a fedő sebességadatai alapján lett meghatározva. A szabályos háromdimenziós modell 0,5 km-es rácmérettel készült el, így a modell mérete 441×321×101 rácsegyiség, azaz több mint 14 millió cella volt. Az iteráció három lépésben történt, először 10×10×5 km, majd 5×5×2 km és végül 2×2×1 km modellekkel.” (ELGI éves beszámoló – Hegedűs 2002, 2004)

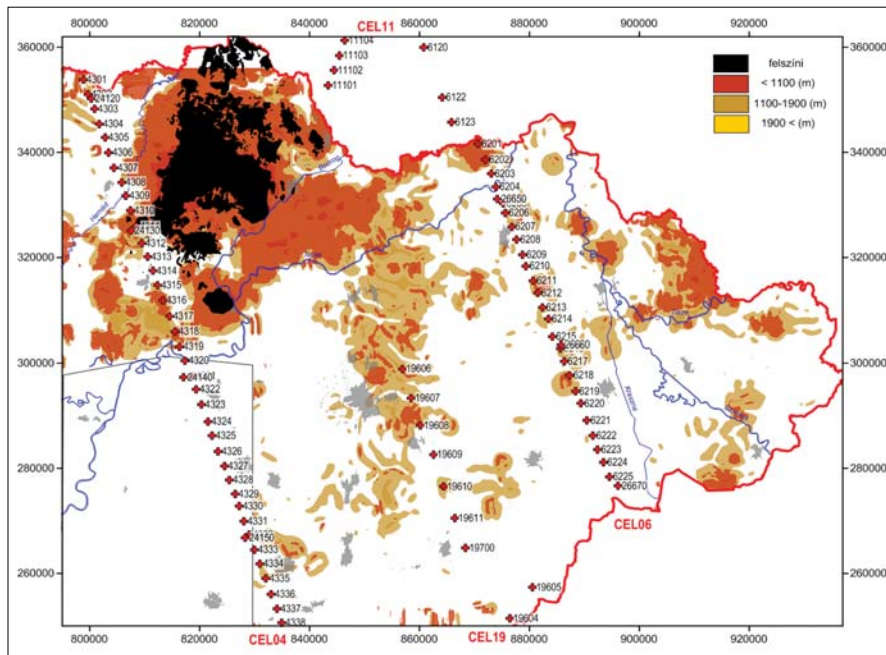
Első lépésben a 2D feldolgozásokból sebességmélység-szelvények készültek (3., 4. ábra).

A szelvények mentén, a 2–5 km-es mintavételi távolságnak (geofonköznek) megfelelően, a felbontás a fedő viz-

gálatához nem elegendő, csak egy robusztus sebességmenetet látunk (a fedő azon inhomogenitásai, amelyek 5 km-nél kisebb kiterjedésűek, ennél a méréssűrűségeknél nem jelennek meg). A 3–15 km-es mélységtartományban már a sebességeloszlás kellően tagolt, 4500–6000 m/s közötti sebességértékek mellett.

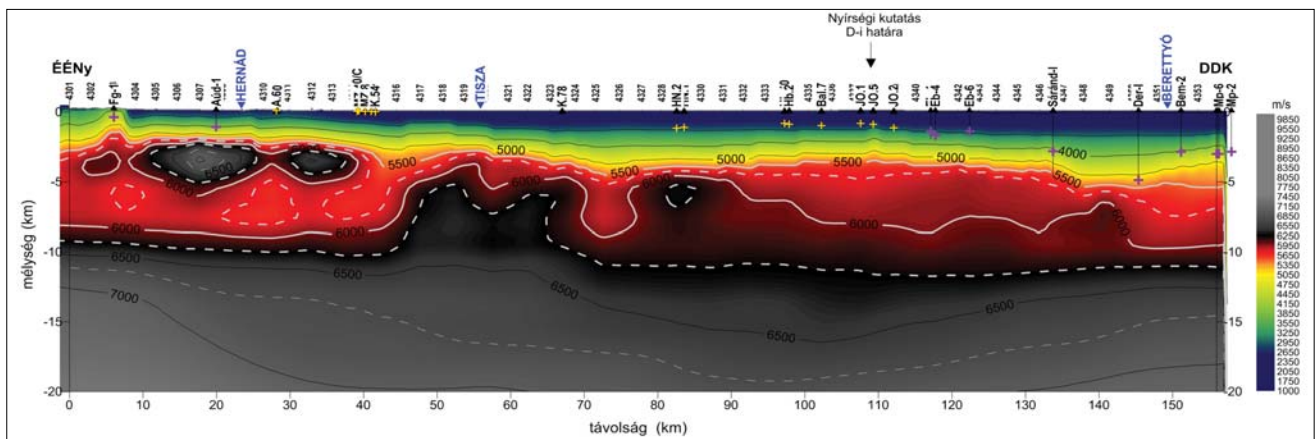
A Nyírség területén volt még egy nagyobb fedettséget adó, részletesebb 3D mérési kampány Kisvárdai térségében (Hajnal et al. 2004). Ennek a mérésnek a fő vonala a Nyi-7 szeizmikus reflexiós szelvényvel egyező, de rövidebb 2D szelvény. E vonal mentén 50–100 m geofontávolsággal (640 geofonnal) történtek a mérések és a robbantópontok (35 db) sűrűbben voltak a vonal mentén és a mért terület peremrésein (5. ábra).

A Nyi-7-szelvény mentén (6. ábra) jelentős sebességugrások csak 3–4 km-es mélységben jelentkeznek, azaz a refrakciós módszer számára még sűrű geofonköz mellett is a felszínközeli inhomogenitások – ha vannak – túl kismé-



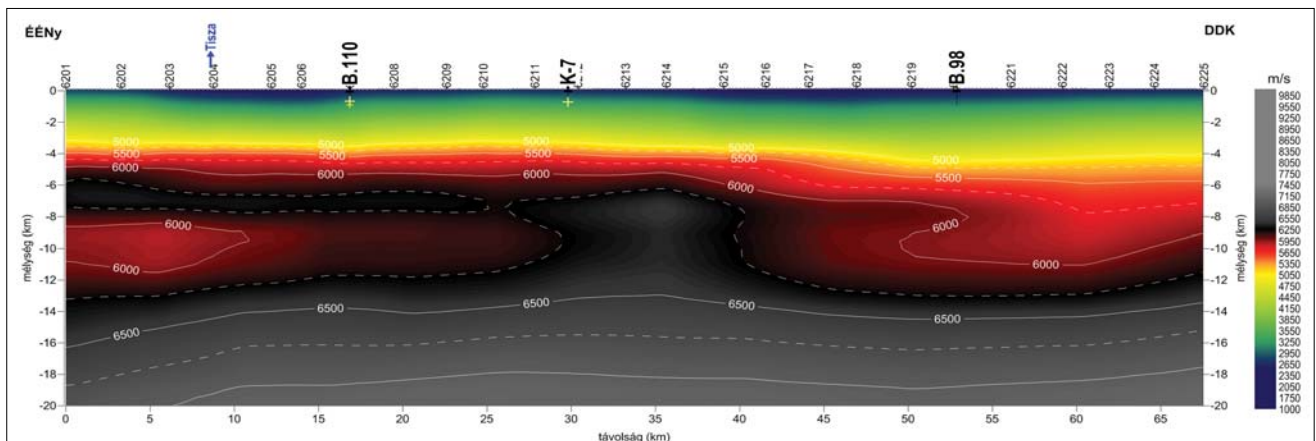
2. ábra A CELEBRATION-2000 program mérési pontjai (azonosítási számmal) a Nyírségben, az 1–2 km-es mélységű mágneses hatók elterjedési térképén

Figure 2 Measurement points (with identification number) of the CELEBRATION-2000 programme in the Nyírség, in the map of magnetic changeability (magnetic causative bodies of 1–2 km depth)



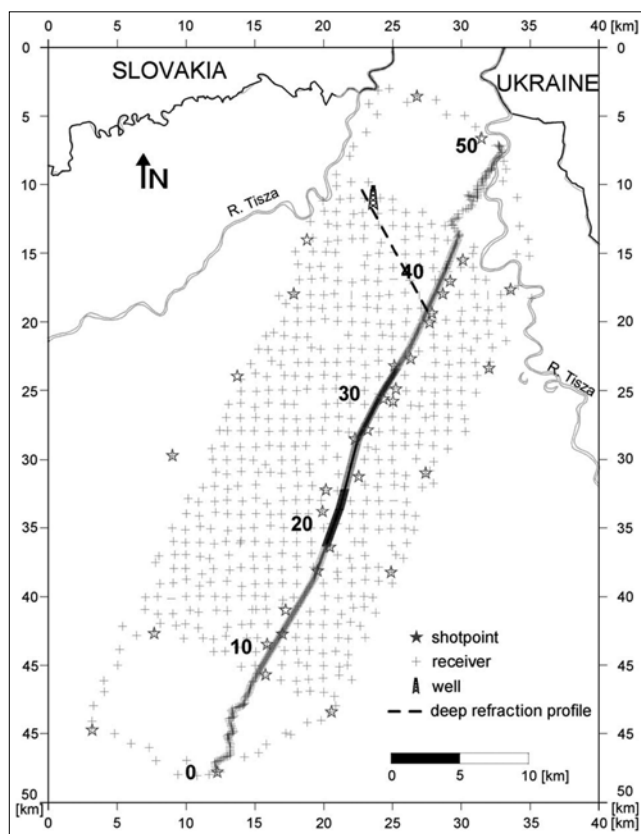
3. ábra Szeizmikus P-hullámsebesség eloszlása a CEL04-szelvény mentén (kimagasított, teljes hossz: 152 km)

Figure 3 Seismic P-wave velocity distribution along the CEL04 section (vertically exaggerated, total length: 152 km)



4. ábra Szeizmikus P-hullámsebesség eloszlása a CEL06-szelvény mentén (kimagasított, 67 km-es magyarországi szakasz)

Figure 4 Seismic P-wave velocity distribution along the CEL06 section (vertically exaggerated, 67 km long section in Hungary)



5. ábra 3D tomográfia a Nyírségben, a rengéskeltés (★) és a geofonok (+) helyzetével (Hajnal et al. 2004)

Figure 5 3D tomography in Nyírség, showing the position of the shotpoints (★) and geophones (+) (Hajnal et al. 2004)

tűk, s ezért nem látszanak a P-hullám-sebességtérben. A mélyebben megjelenő sebességugrások, a geofizikai modell alapján robusztusan értelmezhetők. Nagy sebességű anomáliák, 2500 m-t meghaladó mélységben 37–42 vkm-es³⁾, majd mélyebben a 44–53 vkm-es szakaszokon bázisos magmás testként értelmezhetőek. A legjelentősebb, feltehetően az aljzat szerkezetét érintő változás 30 km-nél mutatható ki (6. ábra).

A CELEBRATION-szelvényekből készült 3D feldolgozásokból kirajzolódó geometria segíthet minket az anomáliák értelmezésében. A szeizmikus modell szerint a kristályos medencealjzat-képződmények 5000 m/s-tól kezdődnek. A 7. ábra a 6500 m/s sebességű, a 8. ábra az 5800 és a 6500 m/s sebességű szinteket mutatja.

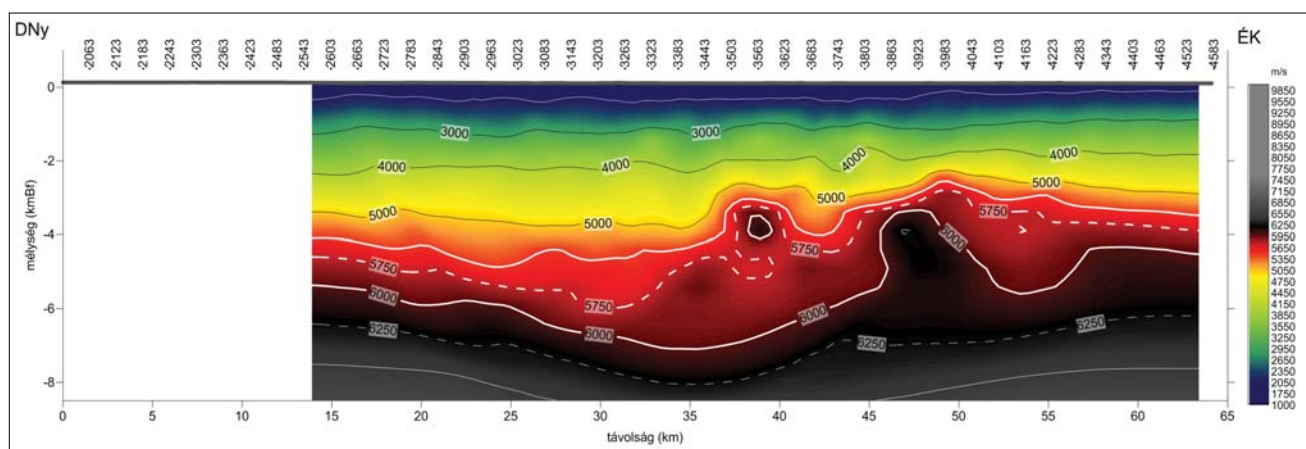
Az 5800 m/s-os szint már összefüggő zárt felületet mutat és csak alatta azonosíthatók a kiugró sebességanomáliák. Az 5000 m/s szint is még e szint felett lesz, és a feltételezett legmélyebb medencealjzat-mélység is a Nyírségben 5 km-re tehető a gravitáció alapján, de 2–3 km-nél nagyobb mélységekben a gravitáció bizonytalan eredményt ad. További vizsgálatok (reflexiós szeizmikus átlagenergia-attribútum) alapján a 7 km sem zárható ki. A 7. ábra jól beazonosítható, nagy sebességű „úszó” testei valószínűleg magmás képződmények, amelyek már a medencealjzatban vannak. A kisvárdai 3D méréseket éppen az egyik nagy sebességű test felett mérték kollégáink, vizsgálva, hogy a sűrűbb felméréssel, jobb térbeli felbontással meghatározható-e a test mérete esetleg eredete.

A tájékozódás megkönnyítése céljából készült a 9. ábra, amely a CELEBRATION 3D feldolgozás területét és a nyírségi kutatási területet mutatja, rajta a néhány síkrajzi elemet: városok, folyók, országhatár, a szövegben említett települések felirata, a CELEBRATION-szelvények és a kisvárdai refrakciós tomográfia Nyi-7-szelvényének pontjai (nyomvonala).

A CELEBRATION 3D térbeli adatokból és feldolgozásokból csak a 2D rácsok álltak rendelkezésre (adott mélységszintek sebességeloszlásával, lásd 10. ábra), de próbáljuk a meglévő állományokból visszanyerni a forrás vagy voxeladatokat⁴⁾.

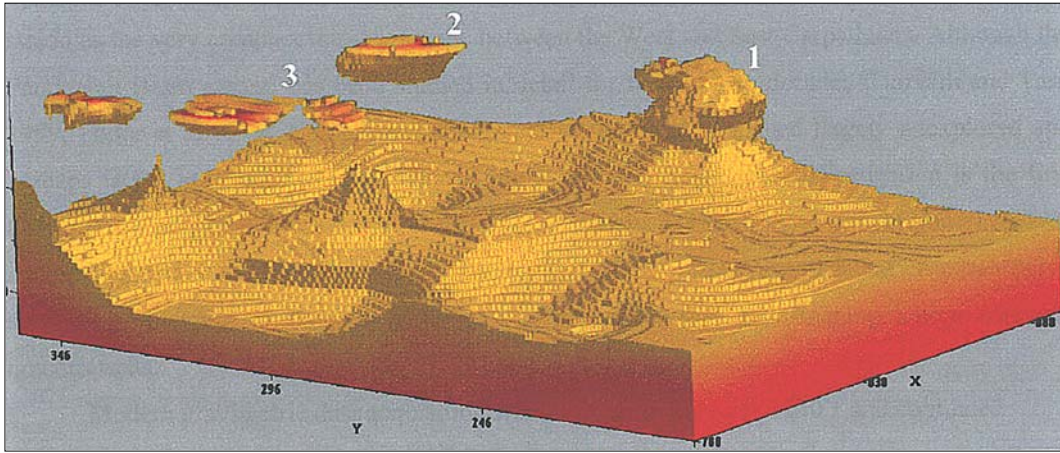
A ritka adatokból készült feldolgozás 5–10 km mélységben egy, a Kárpátok vonulatával párhuzamos, nagy sebességű vonulatot – a kompresszióra (nyírási zóna irányára) merőleges frontvonalat vagy torlódási felületet – jelez.

A szeizmikus adatok kapcsán érdemes megemlíteni az egyik legfrissebb, az adott témában megjelenő cikket a



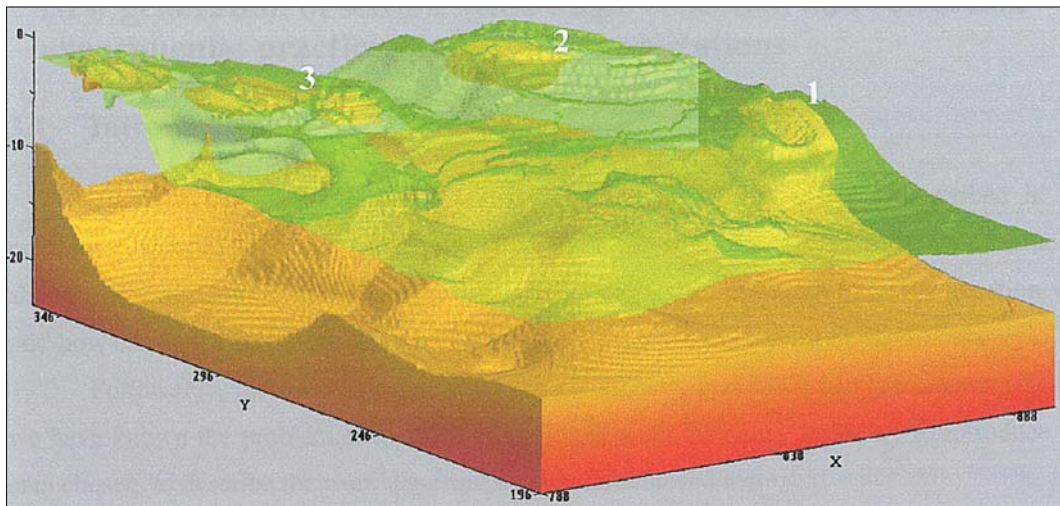
6. ábra Szeizmikus P-hullámsebesség eloszlása a Nyi-7-szelvény mentén (kimagasított)

Figure 6 Seismic P-wave velocity distribution along the Nyi-7 section (vertically exaggerated)



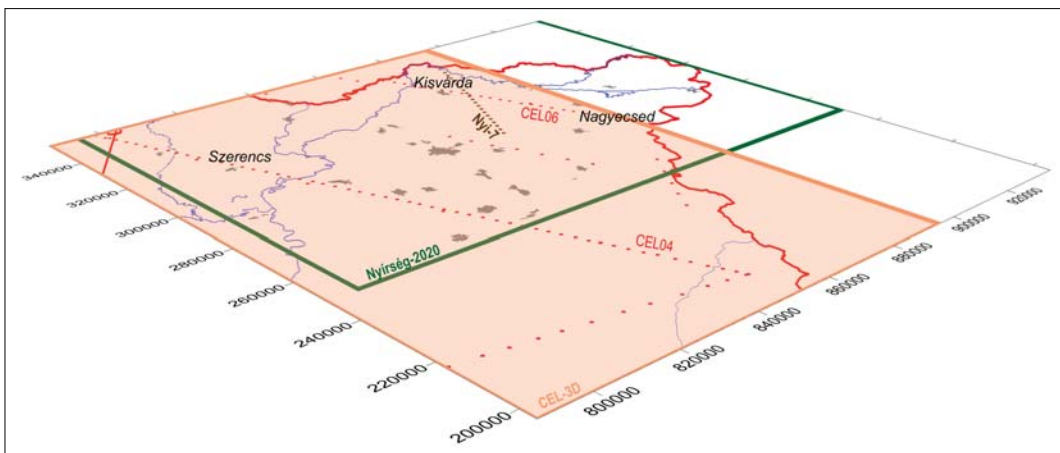
7. ábra A 6500 m/s sebesség felszíne a 3D feldolgozások alapján. Jól azonosíthatóak a sebességtérben „úszó” nagy sebességű lávaképződmények: 1 – Nagyecsed; 2 – Kisvárdá; 3 – Szerencs. A mélységskála a 8. ábra szerint (forrás: Hegedűs 2004)

Figure 7 Surface of the 6500 m/s velocity based on 3D processing. The high-speed lava flows “floating” in the velocity field are clearly identifiable: 1 – Nagyecsed; 2 – Kisvárdá; 3 – Szerencs. The depth scale is shown in Figure 8 (source: Hegedűs 2004)



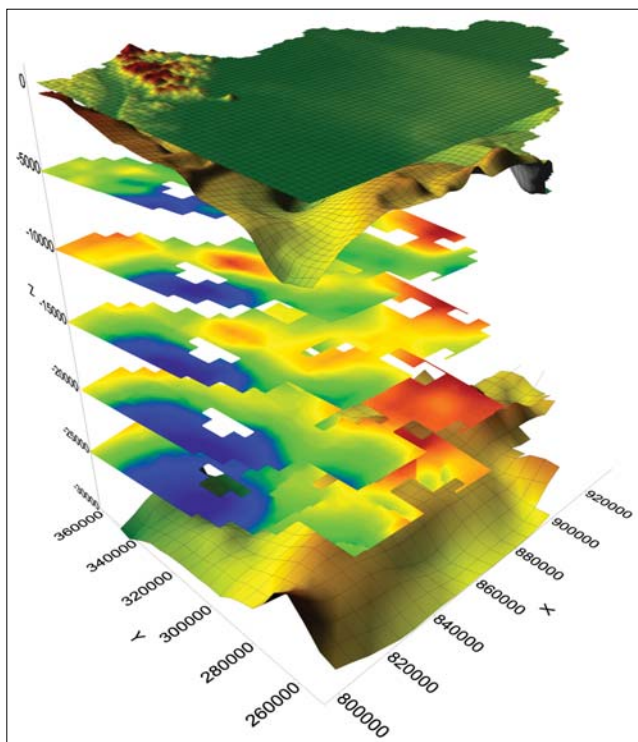
8. ábra Az 5800 m/s (zöld) és a 6500 m/s (világosbarna) sebesség felszíne a 3D feldolgozások alapján (forrás: Hegedűs 2004)

Figure 8 Surface of the 5800 m/s (green) and the 6500 m/s (light brown) velocities based on 3D processing (source: Hegedűs 2004)



9. ábra A CELEBRATION-mérés 3D feldolgozási területe (narancssárga) és a Nyírség kutatási terület (zöld keret), rajta Nagyecsed, Kisvárdá és Szerencs elhelyezkedése

Figure 9 3D processing area of the CELEBRATION measurement (orange) and the Nyírség study area (green frame), showing the location of Nagyecsed, Kisvárdá and Szerencs



10. ábra A 3D sebességtéradatakból csak néhány mélység szint sebességeloszlása áll pillanatnyilag rendelkezésre. A szintek felülről lefelé: domborzat, prekainozoos medencealjzat, 5 km mélység sebességeloszlása, 10 km mélység sebességeloszlása, 15 km mélység sebességeloszlása, 20 km mélység sebességeloszlása, 25 km mélység sebességeloszlása, Moho-szint. Szintenként a sebességeloszlások színskódjai a szélsőértékek alapján szét vannak húzva egy kék–zöld–sárga–piros (minimumtól – maximumig) színskálával

Figure 10 Only a few depth-level velocity distributions from the 3D velocity space data are currently available. Levels from top to bottom: topography, Pre-Cenozoic basin bottom, 5 km depth velocity distribution, 10 km depth velocity distribution, 15 km depth velocity distribution, 20 km depth velocity distribution, 25 km depth velocity distribution, Moho level. At each level, the colour codes for the velocity distributions are separated by extreme values into a blue–green–yellow–red (minimum to maximum) colour scale

Magyar Geofizika c. folyóiratban, amelyet Braun és társai publikáltak 2019-ben.

A tanulmány a nyírségi és szatmár-beregi szénhidrogén-koncessziós területek szeizmikus méréseivel foglalkozik. Ennek oka az, hogy a geológiai formációk közzettani jellege (vulkanitok jelenléte) és térbeli helyzete miatt a korábbi szeizmikus reflexiós mérések eredménytelennek bizonyultak. A tanulmány elsődleges célja a terület mélyföldtani viszonyainak összefoglalása és bemutatása után a rendelkezésre álló adatok tükrében többretegű geológiai-geofizikai modell felépítése és a modell szeizmikus leképezhetőségeinek vizsgálata.

A tanulmány bemutatta, hogy a reflexiós eredmények a PP-hullám esetén a legjobbak, a többi hullámtípus alkalmazása nem életképes. Az eredmények alapján a Nyírség aljzatának és a preneogén képződményeinek további szeizmikus kutatása eléggé kérdéses. A tanulmány végső következtetése, hogy a vibrátoros jelgerjesztés helyett egy

nagy energiájú robbantásos forráskeltés jobb eredményt hozna, mivel a robbantásos forráskeltéshez képest a „vibroiseis” nem képes elegendően nagy energiaközlésre alacsony frekvenciás tartományban. Ennek a rezgőkeltésnek a kivitelezése azonban környezetvédelmi és hatósági engedélyeztetési akadályokba ütközhet. A nagy terítéses mérési elrendezést az ELGI részéről történt korábbi széles szögű mérés (Hajnal et al. 2004) biztató eredményei indokolják.

A CELEBRATION-szelvények a ritka mintavételezés miatt a fedő összleteket nem tudják bontani, de egy litoszférakutató szelvénynek nem ez volt a célja. A CEL-szelvények adatainak további feldolgozása azonban rámutat arra, hogy a ritka pontsűrűség mellett is nyerhető ki információ a fedő vulkáni összletekről. A sűrűbb geofonpontok esetén a feldolgozás igenis alkalmas lehet a fedő összletek részletes bontására, többek közt a vulkanitok elkülönítésére, lehatárolására. Továbbiakban erre mutatunk be egy lehetséges feldolgozási módszertant.

Feldolgozások a CEL06-szelvény mentén

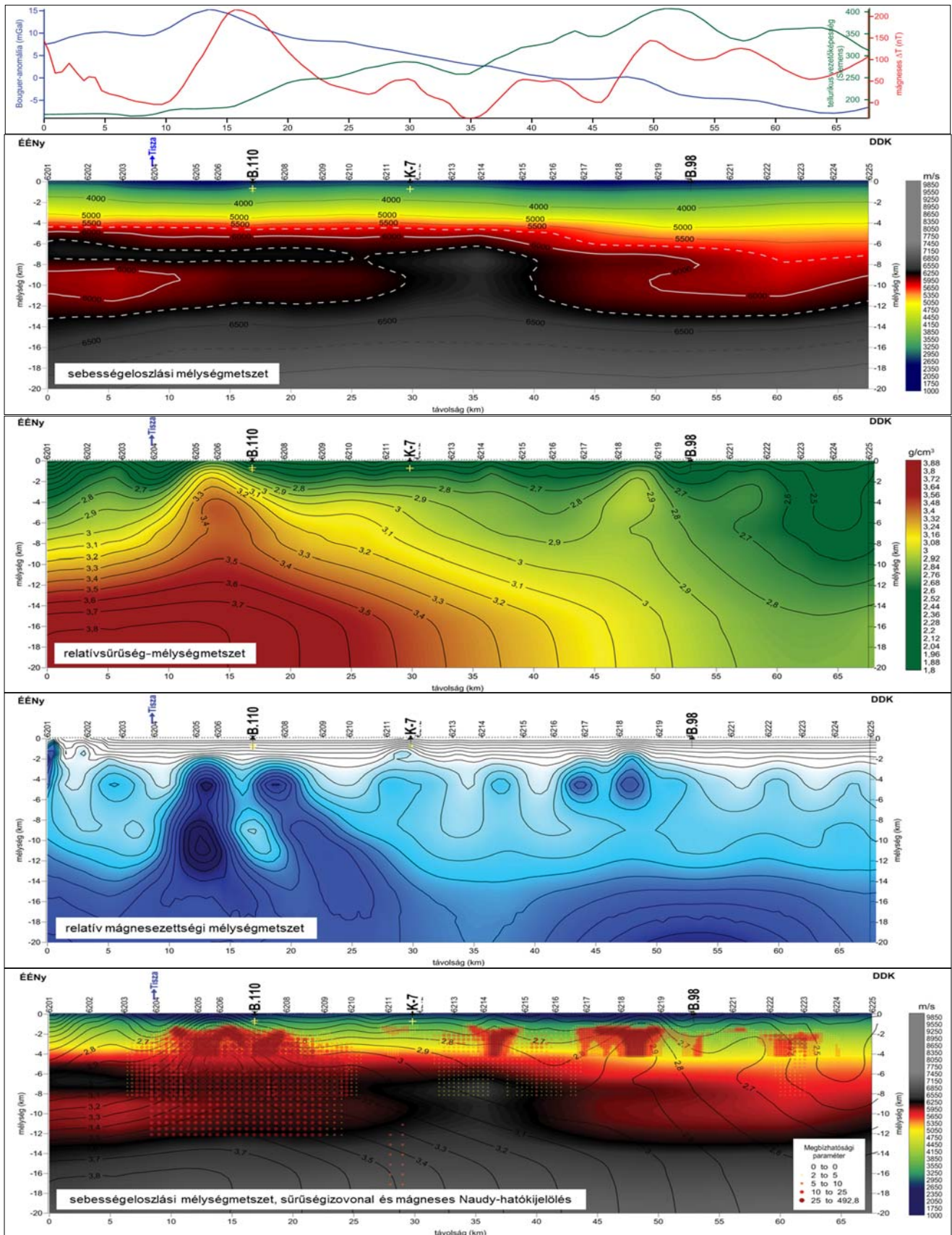
A szeizmikus litoszférakutató szelvény nyomvonala mentén rendelkezésre állnak a térképező geofizikai módszerek adatai, mint a gravitációs Bouguer-anomália, a mágneses ΔT -anomália és a tellurikus vezetőképesség-anomália. A forrásadatok és a szűrt, transzformált adatok további vizsgálatokat tesznek lehetővé, amelyeket az értelmezés során fel is használtunk.

A CEL06 refrakciós tomográfia P-hullám-sebesség-szelvénye (11. ábra) az 5–15 km-es mélységekben mutat komolyabb változásokat a sebességeloszlásban, amit talán a 6250 m/s szintvonal követésével lehet legjobban érzékelni (fehér szaggatott vonal).

Az első 55 vkm-en 7 km-es mélységig folyamatos sebességnövekedés látszik, majd utána 7–13 km között egy csökkent sebességű zóna és 14 km-től ismét sebességnövekedés. Körülbelül 35 vkm-nél egyfajta gyökérzóna jelentkezik azzal, hogy a sebességnövekedés monotonitása közel folytonos, és itt van a szelvény mentén 10 km mélységben a legnagyobb sebességérték.

55 vkm után a sebességviszonyok megváltoznak, eltűnik a 7 km-es mélység nagy sebességű betelepülése, és a 6250 m/s sebesség csak 13 km-es mélységben jelenik meg. A váltás a 6220-as geofon környékére tehető, ami a tellurikus vezetőképesség maximumtengely vonalának felel meg.

55 vkm-től a szelvény végéig egy csökkent sebességű zóna rajzolódik ki. A sebességviszonyok alapján valószínűleg nem a medenceüledék vastagodik ki, hanem sokkal inkább az aljzatképződmények sebessége csökken le (képződményváltás?). A sebességeloszlás jól látható eltérése adódhat a szelvény első 55 vkm-ben 7 km-es mélységben jelen lévő, rétegszerű formát mutató, nagy sebességű összlet megjelenése miatt (bázisos magmatitok?), ami jelentősen módosítja a sebességviszonyokat.



11. ábra Gravitációs, mágneses, tellurikus anomáliagörbék, sebesség-, sűrűség- és mágneszettség-eloszlási mélységmetszetek, valamint alul a Naudy-féle hatókijelölése eredménye a CEL06-szelvény mentén
 Figure 11 Gravity, magnetic, telluric anomaly curves, velocity, density and magnetization distribution depth sections, and at the bottom the result of Naudy's solutions along the CEL06 section

A CEL06 relatív sűrűség mélységmetszete⁵⁾ (11. ábra) már a felső 5 km-ben is mutat lokális sűrűséganomáliákat, amelyek csak a sebességek alapján még nem látszóttak. A legjelentősebb 15 vkm-nél, ahol a 3 g/cm³ körüli becsült sűrűségű összlet 1–1,5 km mélységig felemelkedik – egy 10 km-es mélységből kiinduló csóva szinte a felszínig követhető.

Formájában hasonló, de kisebb kontraszttal azonosítható 48 vkm-nél egy másik, amelynek a gyökere többé-kevésbé még látható, majd 57 vkm-nél még egy, ez viszont már lokális anomália formájában jelentkezik (oldalhatás?). A szelvény mentén 10 km-es mélység alatt azonosítható jelentős váltás a sűrűségértékekben. A szelvény elejének (ÉÉNy oldal) 3–5 km mélységben észlelt 3 g/cm³ feletti becsült sűrűségértéke a szelvény végén (DDK-i részen) ugyanebben a mélységtartományban már 2,7 g/cm³ értékre változik.

A felső 5 km-es mélység sebesség- és a sűrűségparamétereinek eltérése a mérési pontsűrűséggel megmagyarázható, de a 10 km körüli mélységben megjelenő eltérésnek már litológiai magyarázata kell, hogy legyen. A szelvény végén, 55 vkm-től a sűrűség és a sebesség is hasonló tendenciát, alacsony értékeket mutat.

A relatív mágnesezettségi mélységmetszet (11. ábra) a fedő sűrűséginhomogenitásait részben megmagyarázza. 3–5 km-es mélységben a sűrűségmaximumok és a mágnesezettségi maximumok korrelálnak, az eltérések jelzik, hogy kisméretű (térfogatú) vulkanitok a fedőben több helyen is jelen lehetnek.

A fedő lokális sűrűségmaximumai és a mágneses hatások kapcsolatát jelzi a következő 11. ábra alján látható komplex szelvénymegjelenítés, ahol a hullámsebesség mélységmetszeten megjelennek a sűrűség-mélységmet-

szet izovonalai és a mágneses Naudy-megoldások. Érdekes, hogy a szelvény második felében a Naudy-féle feldolgozások a mágneses hatók helyzetét egyértelműen a fedőben adják meg, főként a szeizmikus 5000 m/s sebesség izovonala felett, miközben a szelvény elején 2–10 km mélységtartományban is tömeges mágneses hatás látszik!

A szeizmikus sebességre is jellemző, hogy a mélységgel arányosan növekednek, azaz van egy mélységtrendjük. Ezt a mélységtrendet a sebességeloszlás-rács alapján meg is tudjuk határozni, ahogyan ezt a CEL07- (Kiss 2005) és a CEL08- (Kiss 2009) szelvények esetében korábban már megtettük.

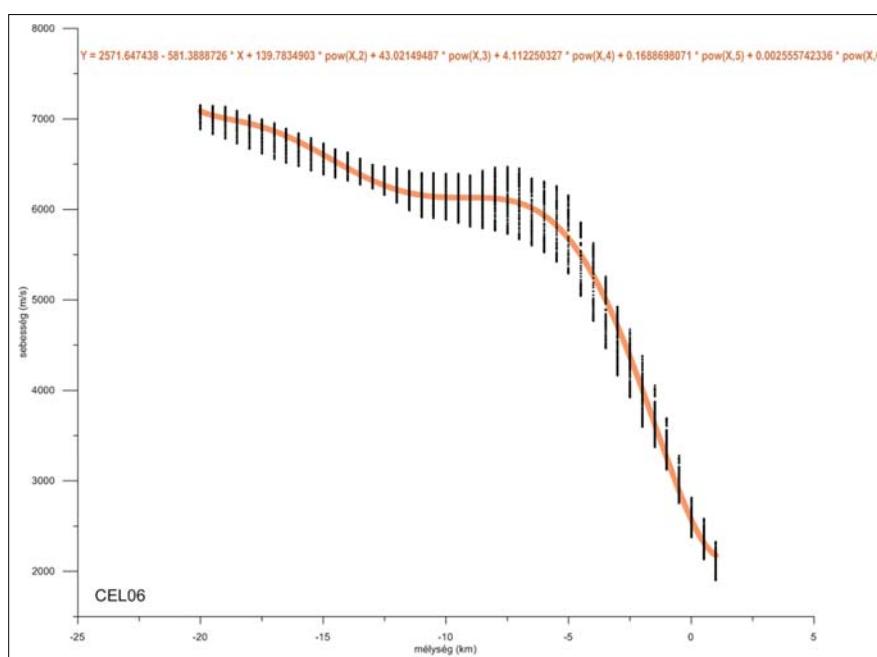
Egy hatodfokú polinom írja le a mélység (x) és a sebesség (y) kapcsolatát:

$$y = 2571,647438 - 581,3888726x + 139,7834903x^2 + 43,02149487x^3 + 4,112250327x^4 + 0,1688698071x^5 + 0,002555742336x^6.$$

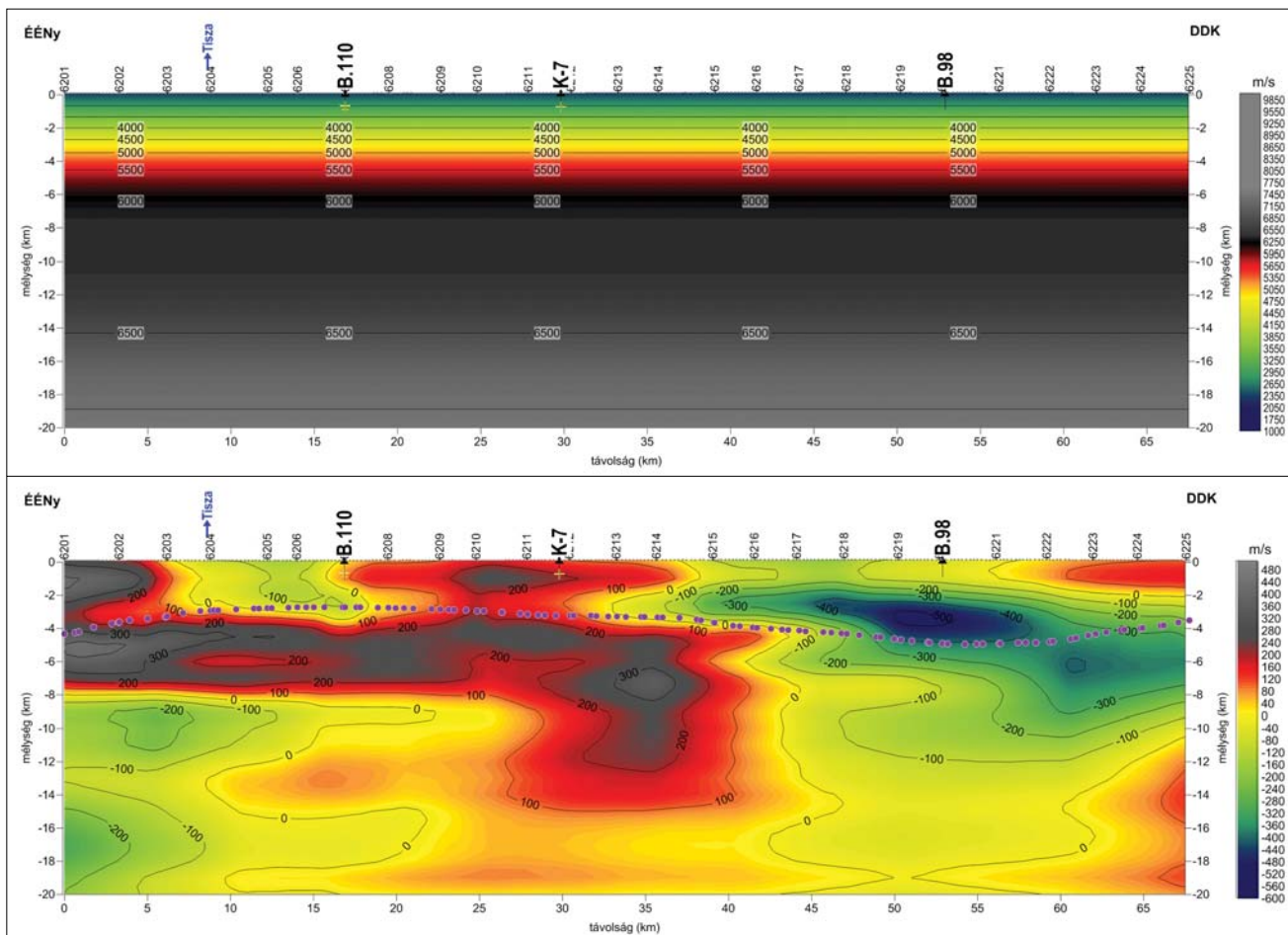
A sebességadatok által kirajzolt pontfelhő (12. ábra) a medencealjzat megjelenését 6 km-nél nagyobb mélységben és 6000 m/s-nál nagyobb sebességgel jelzi, azaz a nagy sebességű medencealjzat a mérési adatok alapján 6 km mélyen, ~6000 m/s sebességgel jellemezhető.

Ha az átlagos sebességmenetet meghatároztuk, akkor vizsgálhatjuk a szelvény mentén, hogy hol vannak eltérések ehhez az általános trendhez képest.

Feltételezve az átlagtrendet, a szelvény minden egyes pontjára ki tudjuk számolni az átlagos sebességértéket (13. ábra, felül). Ha a mért sebességekből eltüntetjük az átlagtrendet (sebességből kivonjuk a trendet), akkor a sebességanomália (maradék-anomália) értékét határozzuk meg, azaz a normál sebességhez képesti eltéréseket (Kiss 2005). A sebességanomália-szelvényen (13. ábra, alul)



12. ábra | Az átlagos sebesség-trend (narancssárga vonal) meghatározása a CEL06 sebességadatai alapján
Figure 12 | Determination of average velocity trend (orange line) based on CEL06 refraction velocity



13. ábra Átlagos sebességtrend (felül) és a sebességanomália (alul), azaz az átlagos sebességmenettől való eltérés a CEL06-szelvény mentén (lila pöttyökkel a Kilényi–Sefara-féle medencealjzat-mélység van jelölve)

Figure 13 Average velocity depth trend (top) and velocity anomaly or residual velocity (bottom), i.e. deviation from the average velocity along the CEL06 section (purple dots indicate the Kilényi–Sefara basement depth)

olyan rendellenességek is előjönnek, amelyek a sebesség-szelvény alapján nem látszóttak, pl. a szelvény első 5 vkm-ben vagy a 15–37 vkm között kb. 1 km-es mélységben megjelenő pozitív anomália – sebességtöbblet. A mélyebb rézszeken 30–38 vkm között is megjelenik egy pozitív anomália 4–12 km mélységben (bár ez látszott az eredeti sebességek alapján is). A negatív anomália (sebességhiány) is érdekes, ami a szelvényen 45 vkm-től azonosítható. (A sárga, illetve a közvetlenül mellette megjelenő világoszöld és piros színek a normál sebességmenetet jelzik, és csak az extrém értékeknek, fekete és kék színek jeleznek jelentős változást, aminek földtani szempontból lehet jelentősége.) A Kilényi–Sefara-féle (1991) medencealjzat-mélység a szelvény DDK-i végén már nem fekszik rá az alsó, nagy sebességű képződményekre, mint a szelvény elején. A csökkent sebességű térrész 2–10 km mélységtartományban azonosítható biztosan. Ez a negatív anomália a nagy, ellipszis formájú gravitációs minimum területére esik (lásd Kiss et al. 2020).

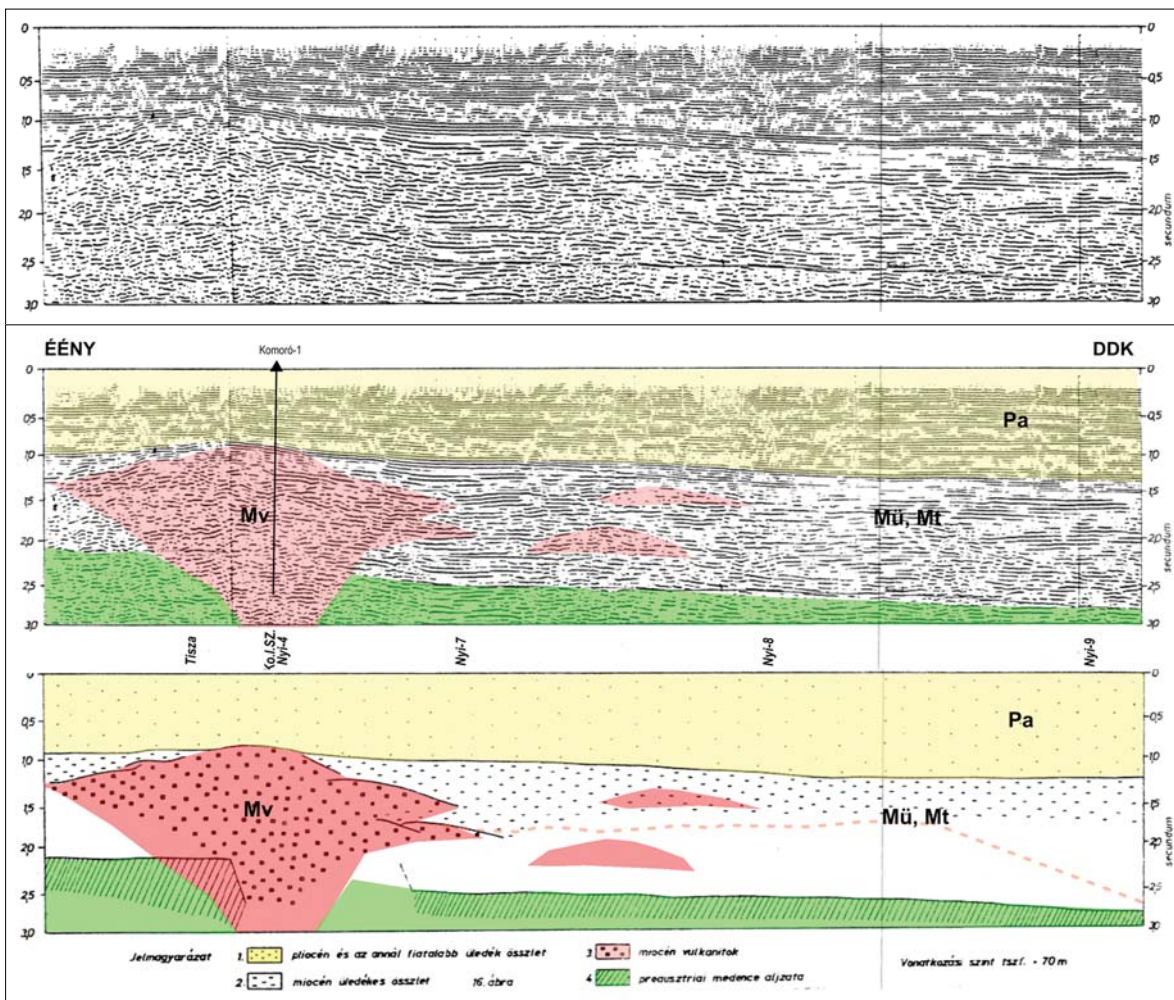
A CEL06-szelvényhez közel, majdnem párhuzamosan, szögeltéréssel halad a No-22 szeizmikus reflexiós szelvény. A szelvényt Bodoky Tamás és társai publikálták az

Általános Földtani Szemle c. folyóiratban, 1977-ben. A szelvényhez a szerzők értelmezést is adtak, amelyet kicsit felfrissítve teszünk közzé összevetés céljából.

Ezen a szelvényen (14. ábra), a felső 6 km mélységben ($t = 3$ s) egyértelműen egy vulkáni test rajzolódik ki. Ez a test a szelvények eltérő nyomvonala miatt kisebb vízszintes kiterjedéssel, de a ritka mintavételezésű CEL06 sebesség-anomália-szelvényen is jól azonosítható (4. ábra). Az azonosítás nem pontos, mert nem az egész No-22-szelvény van megadva, hanem csak egy szakasza. A szelvényt 3 darabban mérték le 1972–1973-ban.

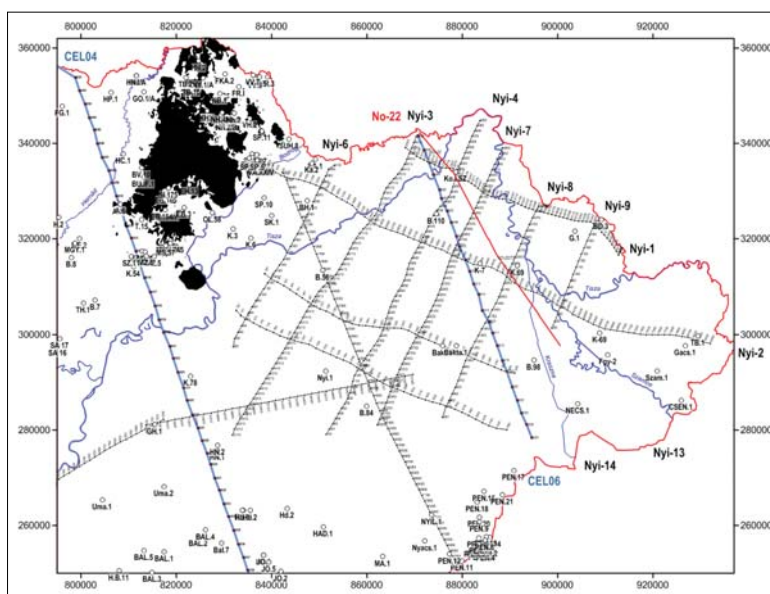
A szelvény helyét a 15. ábra mutatja. Az értelmezés során (14. ábra) meghatározták a vulkáni testek várható helyzetét, a pannon összletek talpmélységét (1200–1400 m) és a „preausztriai” medencealjzatot (3400–5300 m). Mind a pannon talp, mind a medencealjzat szintje É-ről D-i irányban mélyül.

A publikált szelvényen nincsen vízszintes méretarány megadva, így az értelmezett szelvényszakaszt nem tudtuk pontosan helyére tenni, de érdemes lesz a szelvényt előszedni az archívumból.



14. ábra No-22 szeizmikus reflexiók időszelvény egy szakasza és értelmezése a felső kb. 6 km mélységre (Bodoky et al. 1977)

Figure 14 No-22 seismic reflection time section and its interpretation for the upper 6 km depth (Bodoky et al. 1977)



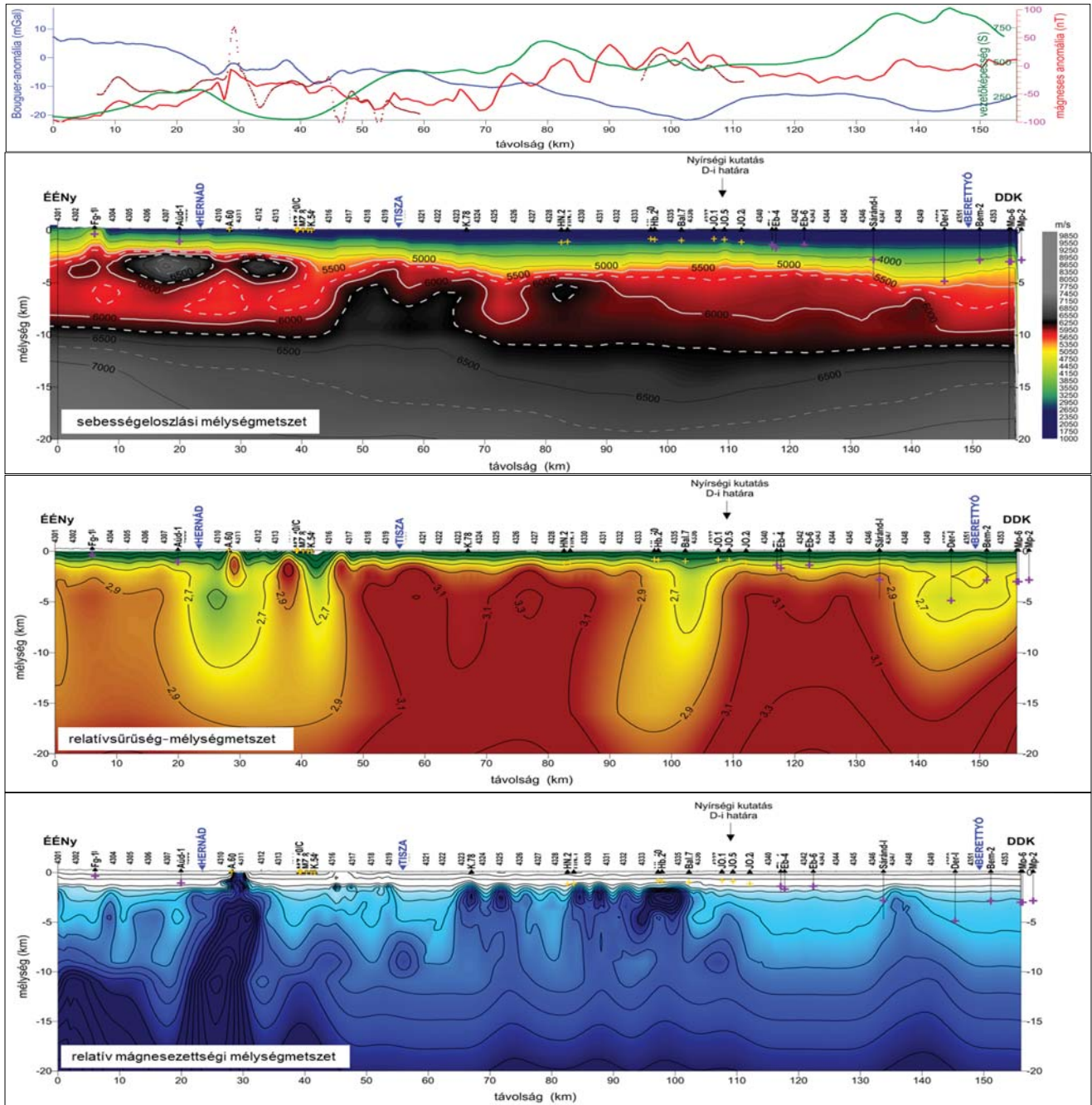
15. ábra Fontosabb szeizmikus mérések nyomvonalai, és a No-22-szelvény nyomvonala (pirossal) a CEL-szelvények (kékkel). Fekete poligonok jelzik a felszíni vulkanitokat

Figure 15 Traces of the most important seismic profiles with trace of the No-22 (in red) and the CEL profiles (in blue). Black polygons indicate the surface volcanic rocks

Feldolgozások a CEL04-szelvény mentén

A CEL04-szelvény magyarországi szakasza a Cseréhát ÉK-i csücskétől indul DDK irányban, a Hernád völgye, majd Szerencs és Debrecen irányában folytatódva, a Berettyó–Sebes-Körös között éri el a DK-en, ~165 vkm-nél az országhatárt (2. és 5. ábra). A szelvény D-en túlfut a nyírségi kutatási terület határain és a szelvénynek csak az É-i, 110 km hosszú szakasza esik a vizsgált kutatási területre. Az egyszerűség kedvéért a teljes szelvényt jele-

nítjük meg, jelezve rajta a nyírségi terület határát. A szelvény mentén rendelkezésre állnak a gravitációs, mágneses és tellurikus adatok (16. ábra). A mágneses adatok esetében a földi mérési adatokat (16. ábra, piros görbe) kell használnunk, mert a légi felmérés adatai (16. ábra, barna görbe) adathiány miatt csak szakaszosan állnak rendelkezésre. A gravitációs Bouguer-anomália értékét korigáltuk a Moho várható helyzete alapján, azaz eltávolítottuk belőle a mélyhatásokat (izosztatikus korrekció).



16. ábra Gravitációs Bouguer-anomália (kék), mágneses ΔT -anomália (piros, légi adatok: barna) és tellurikus vezetőképesség-anomália (zöld) görbék, alatta a P-hullámsebesség, a relatív sűrűség és a relatív mágnesezettség mélységmetszet a CEL04-szelvény mentén

Figure 16 Gravity Bouguer anomaly (blue), magnetic ΔT anomaly (red, airborne data: brown) (green), with P-wave velocity and relative density below, and relative magnetization depth section along the CEL04 profile

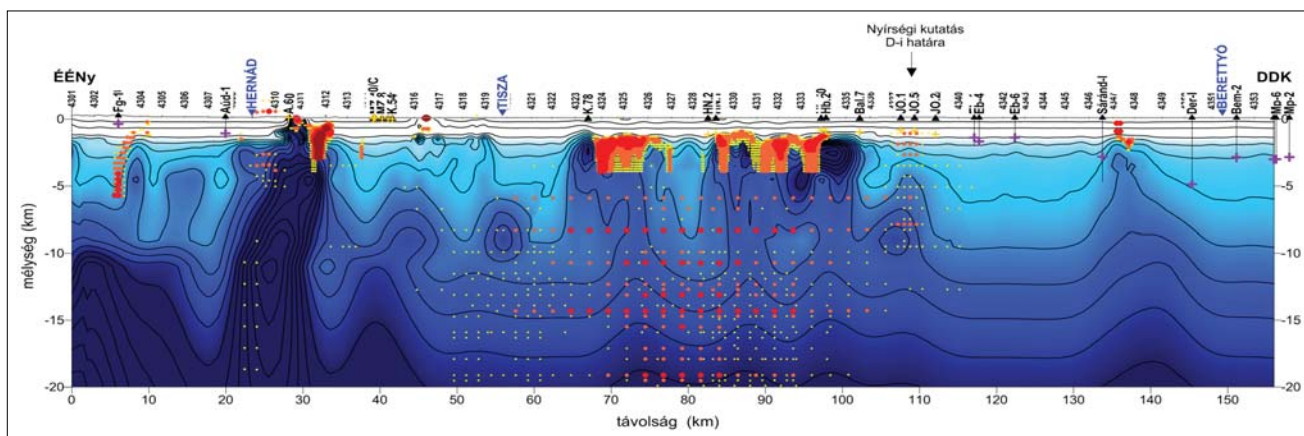
A gravitációs adatok mélységi szeletelésével előállítottuk a relatív sűrűség-mélységmetszetet (16. ábra, alul). A metszeten a legszembetűnőbb szerkezetek a Hernád-vonal 25–30 vkm-nél, illetve a Közép-magyarországi nyírási zóna 90–105 vkm között, de megjelenik a Derecskei-árok is 145 vkm-nél. A Hernád és a Közép-magyarországi vonaltól DDK-re miocén vulkáni képződmények vannak. A 4310–4319 CDP között található az eltemetett szerencsi kaldera, a Tokaji-hegység eltemetett folytatása (a 4310-es pontban riolitot térképeztek a felszínen, amely a mágneses metszet alapján a mélyben átmegy andezitbe). A lávaképződmények felszínközeli, 1–2 km-es mélységben sűrűség-inhomogenitásokat eredményeznek, miközben alatta mély fellazulási zóna figyelhető meg.

A 4330-as CDP-től (tellurikus maximumtengelytől) D-re pedig a flis zóna kezdődik, amelynek a tetején szintén jelentős mennyiségű vulkántörmelékcsomót lehet felté-

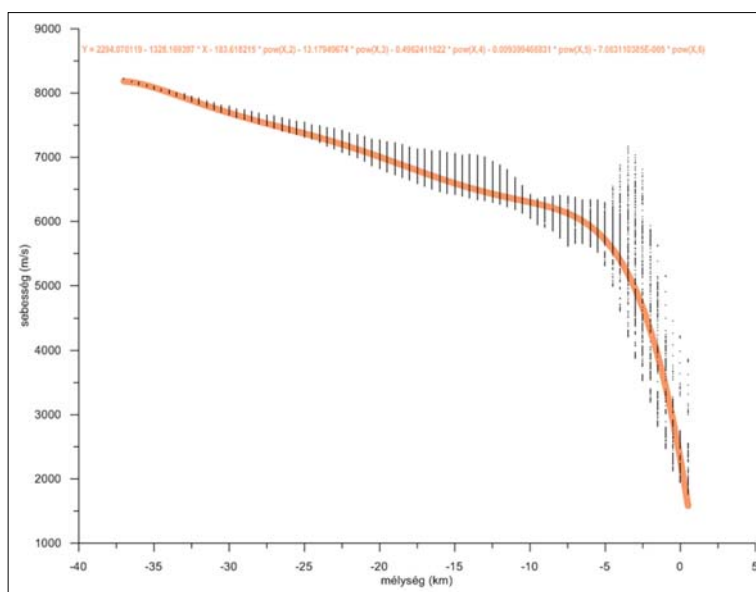
telezni, de alatta a mély nyírási, fellazulási zóna itt is azonosítható. A Derecskei-árok már kívül esik a nyírségi kutatási területen.

A P-hullám-sebességeloszlás alapján 2–5 km mélységben nagy sebességű úszó blokkokat látunk a Tokaji-hegység területén, és érdekes módon a Hernád-vonaltól É-ra is. Ez utalhat esetleg arra, hogy a lávaképződmények egy része a Cserehátba is átnyúlik. A nagy sebességű képződmények alatt 5–8 km között csökkent sebességű képződmények vannak. A relatív sűrűség-mélységmetszeten ez a jelenség nem látszik.

A Hernád-vonal itt is azonosítható, bár nem olyan egyértelmű a kijelölése. A Közép-magyarországi zónára csak az 5000–6000 m/s közötti sebességtartománynak a kivastagodása alapján lehet következtetni, amely délről nyitottnak tűnik a flis megjelenése miatt. Az 5000 m/s-os „üledékes kőzetek” sebességhatára a szelvény kezdeti 2 km-es mély-



17. ábra | Relatív mágneszettségi mélységmetszet a Naudy-féle hatókijelölés eredményével a CEL04-szelvény mentén
Figure 17 | Relative magnetization depth section with Naudy's effect estimate along the CEL04 section



18. ábra | Az átlagos sebességtrend (narancssárga vonal) meghatározása a CEL04-sebesség adatai alapján
Figure 18 | Determination of average velocity trend (orange line) based on CEL04 seismic refraction data

ségéről a szelvény végére 5 km mélységbe kerül szinte folyamatos mélyülés mellett.

45–70 vkm között, majd 77–90 vkm 5–7 km mélységben 6000 m/s feletti sebességű lokális anomáliák látszódnak.

A relatív mágnesezettségi mélységmetszet legjelentősebb anomáliája a Hernád-vonaltól D-re jelentkezik, és a Tokaji-hegységgel, illetve a szerencsi kalderaszerkezettel hozható kapcsolatba. Ez a határ a mélységmetszeten 20 km mélységtől a felszínig azonosítható. Az 1–2 km-es mélységben jelenik meg a legtöbb maximum a relatív mágnesezettségi mélységmetszeten. A K.78 fúrás körüli anomáliák az egyik tellurikus maximumvonulattal (szerkezeti vonal) hozhatók kapcsolatba, a HN.2 fúrás a tellurikus maximumtengellyel, amely a Közép-magyarországi vonalhoz kapcsolható.

A szelvény mentén a földi és a légi mágneses mérések alapján elvégzett Naudy-féle hatókijelölés is igazolja a relatív mágnesezettségi mélységmetszet anomáliáit (17. ábra).

A felszínközeli miocén vulkanitok bázisos részei jól kirajzolódnak, és meglepő módon a vékony Hernád-vonal menti feláramlás mellett megjelenik egy masszív, bár gyenge mágneses zóna 70–95 vkm között 5 km-től egészen 20 km-ig.

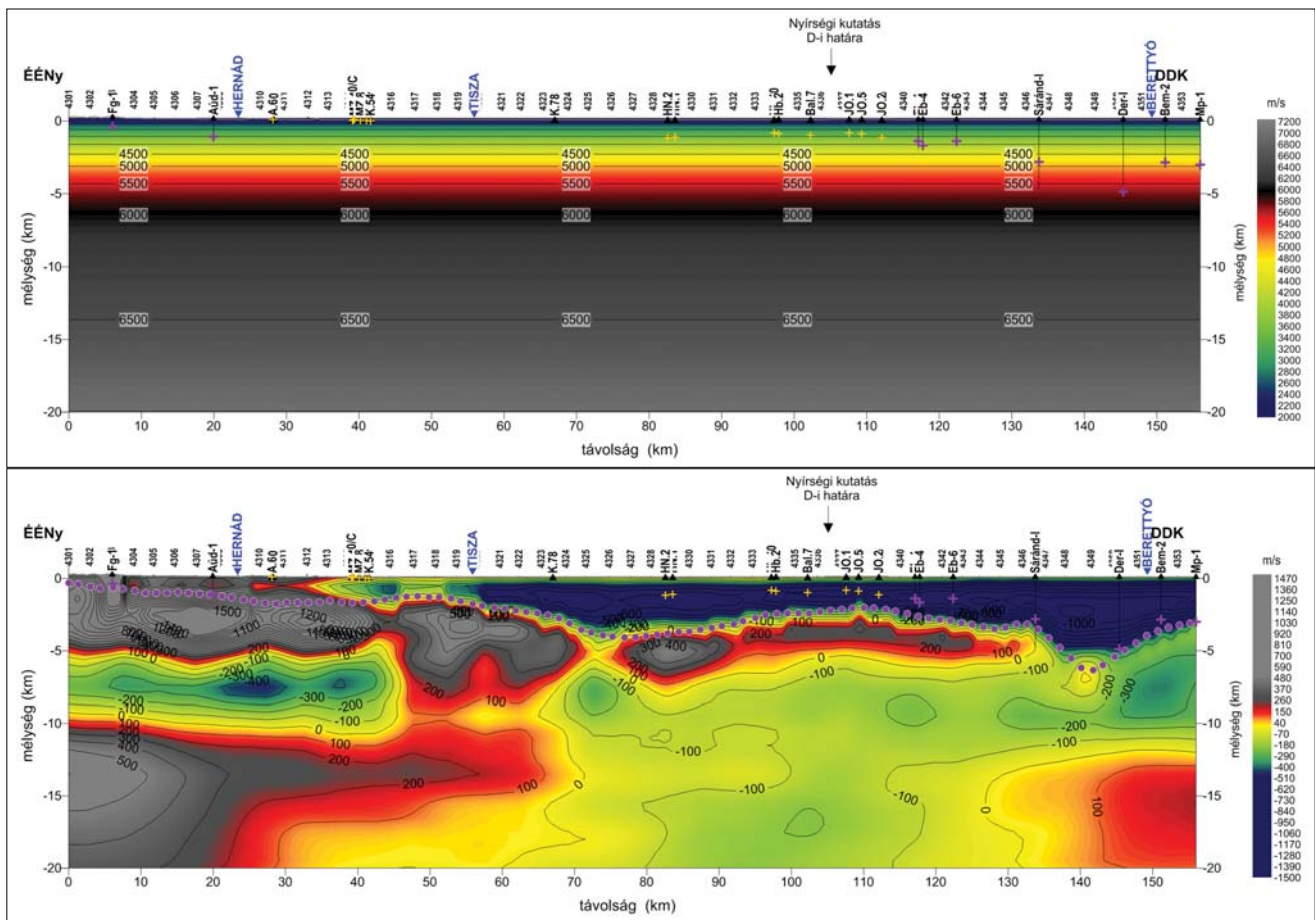
A CEL04-szelvény sebességadatait is megvizsgáltuk a sebességtrend alapján (18. ábra).

Egy hatodfokú polinom írja le a mélység (x) és a sebesség (y) kapcsolatát:

$$y = 2294,070119 - 1328,169397x - 183,618215x^2 - 13,17949674x^3 - 0,4962411622x^4 - 0,009399466831x^5 - 7,063110385E-05x^6.$$

A kapott átlagtrendet és a sebességanomália-szelvényt mutatja a 19. ábra. A sebességgrács adatai által kirajzolt pontfelhőben (18. ábra) 5 km mélységben és 6000 m/s körüli sebességnél jelentkezik váltás a sebesség menetében. Ez azt jelenti, hogy a nagy sebességű medencealjzat szintje 5 km-nél mélyebben várható, és a nagy mélység miatt nem 5000 m/s, hanem 6000 m/s sebességgel jellemezhető.

A CEL04-szelvény mentén az átlagos sebességmenet nem annyira reprezentatív, mint a CEL06 esetében, azaz sokkal nagyobb változatosság van ebben a sebességtérben. A színkiosztás ugyanaz, mint a CEL06-nál, de a színkulcs határértékei a CEL06-os ± 500 m/s-os értékről ± 1500 m/s-ra változtak a CEL04 esetében. A szelvény elején (ÉÉNy), a felső 1–2 km-ben 1000 m/s-ot meghaladó pozitív, a szelvény végén (DDK) ugyanezen a szinten néhány 1000 m/s-



19. ábra Átlagos sebességtrend (felül) és a sebességanomália (alul), azaz az átlagos sebességmenettől való eltérés a CEL04-szelvény mentén (lila pöttyökkel a Kilyéni–Sefara-féle medencealjzat-mélység van jelölve)

Figure 19 Average velocity-depth trend (top) and velocity anomaly (bottom), i.e. deviation from the average velocity along the CEL04 section (purple dots indicate the Kilyéni–Sefara basement depth)

os negatív sebességanomália van, azaz eltérés az átlagos sebességmenettől. A nagy pozitív anomáliák az elején a medencealjzat-képződményekhez kapcsolhatók, itt nem látunk úszó nagy sebességű betelepüléseket a fedőben – bár a kréta-paleogén flis elterjedési területén (80–130 vkm) nem tudható, hogy a flis vagy a felette lévő összlet okozza-e a pozitív sebességanomáliát. A vulkanitok szerepe ebben az esetben sem zárható ki.

A szelvény elején a Cserehát és a Tokaji-hegység előterében 5–10 km mélységben negatív 200–400 m/s-os sebességanomáliát látunk, ami csak kevéssé tér el a normál sebességmenettől. A Közép-magyarországi zónában 80–115 vkm között kisebb, 100 m/s-os negatív sebességanomália látszik, amelynek a tetején, 3–5 km mélységben egyfajta sapkaként jelenik meg egy pozitív 400 m/s sebességű anomália. Ha feltételezzük, hogy a pozitív sebességanomáliák a miocén vulkanizmus hatására felszínre tört lávaképződményekkel kapcsolatosak, akkor 70 vkm-ig a szelvény teljes vertikumát jellemzik az anomáliák, 70 vkm után azonban csak takaró jellegű, 1–2 km vastagságú nagy sebességű fedő zóna figyelhető meg, amely települhet közvetlenül a medencealjzatra.

Mindehhez adalék lehet a Nyi-7-szelvény mentén rendelkezésre álló szeizmikus tomografikus feldolgozás eredménye (Kisvárdai-2003 projekt).

Feldolgozások a Nyi-7 szelvény mentén

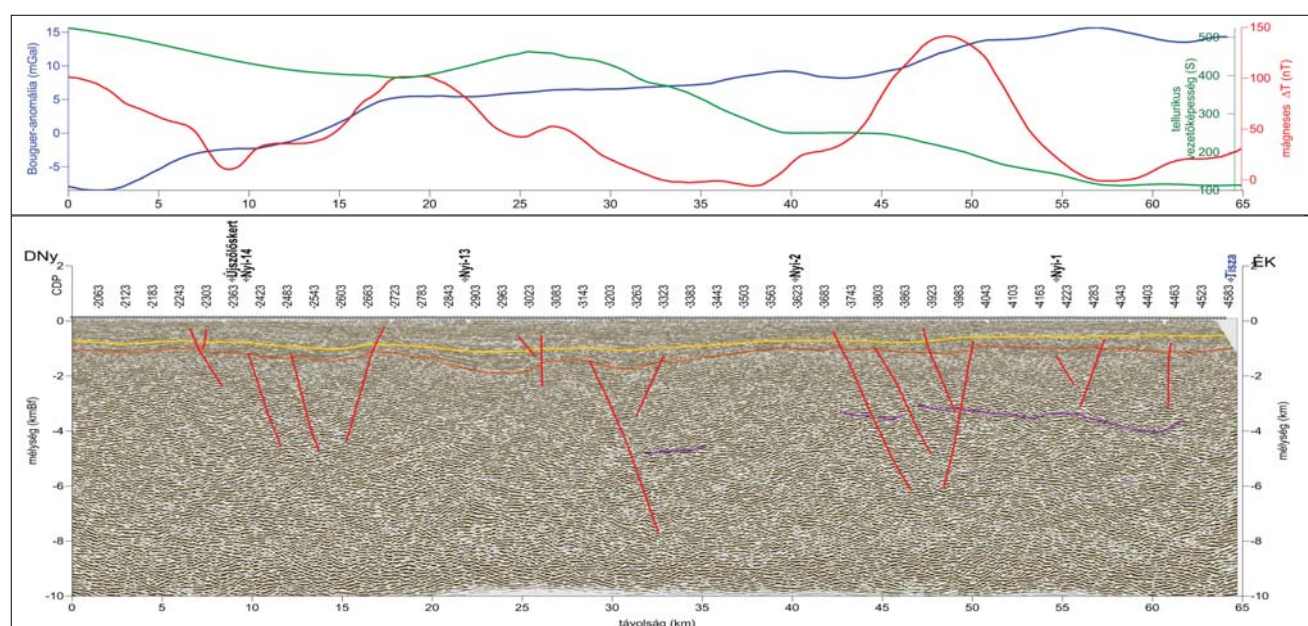
A Nyi-7 szeizmikus szelvény (20. ábra) mentén DNy-ről ÉK-re haladva a Bouguer-anomália-görbe értéke folyamatosan nő. Ezzel párhuzamosan a fajlagos vezetőképesség

értéke kisebb hullámzás mellett fokozatosan csökken. Mindkét jellegzetesség arra utal, hogy vagy a laza medenceüledék vastagsága csökken, vagy – ahogy már utaltunk rá a tellurikus adatok kapcsán – a miocén vulkáni összletek egyre inkább jelen vannak, egyre kisebb mélységben jelentkeznek ÉK felé haladva. Ez részben a szeizmikus reflexiók szintekben is jelentkezik, bár a miocén üledékek azonosítása nem mindig egyértelmű.

A szelvény első 15 km-én a gravitációs görbe (20. ábra, felül, kék görbe) jóval meredekebb, mint a szelvény többi részén, ami szerkezeti (vulkánmorfológiai) váltásra utal. Ez a változás a tellurikus görbén (20. ábra, felül, zöld görbe) nem látszik, viszont a szeizmikus értelmezés 15 vkm-nél tektonikát mutat (20. ábra, alul), ami a Bouguer-értékek DNy-i irányú meredek csökkenésének kezdetét jelenti. A szelvény a Nyíregyházától D-re jelzett, nagy gravitációs minimumról indul. A szeizmikus szelvényen a pannon szintekben a szerkezet nyoma nem látszik (esetleg a 40–20 vkm közötti elmélyülés már a szerkezet kezdetével lehet összefüggésben), valószínűleg a miocén összletek DNy-i irányú kivastagodásával kell számolunk, aminek nyomai a szeizmikus szelvényen csak részben látszanak. A szelvény végétől indulva, a pannon talpra egyenest illesztve, kimutatható a változás/törés kezdete.

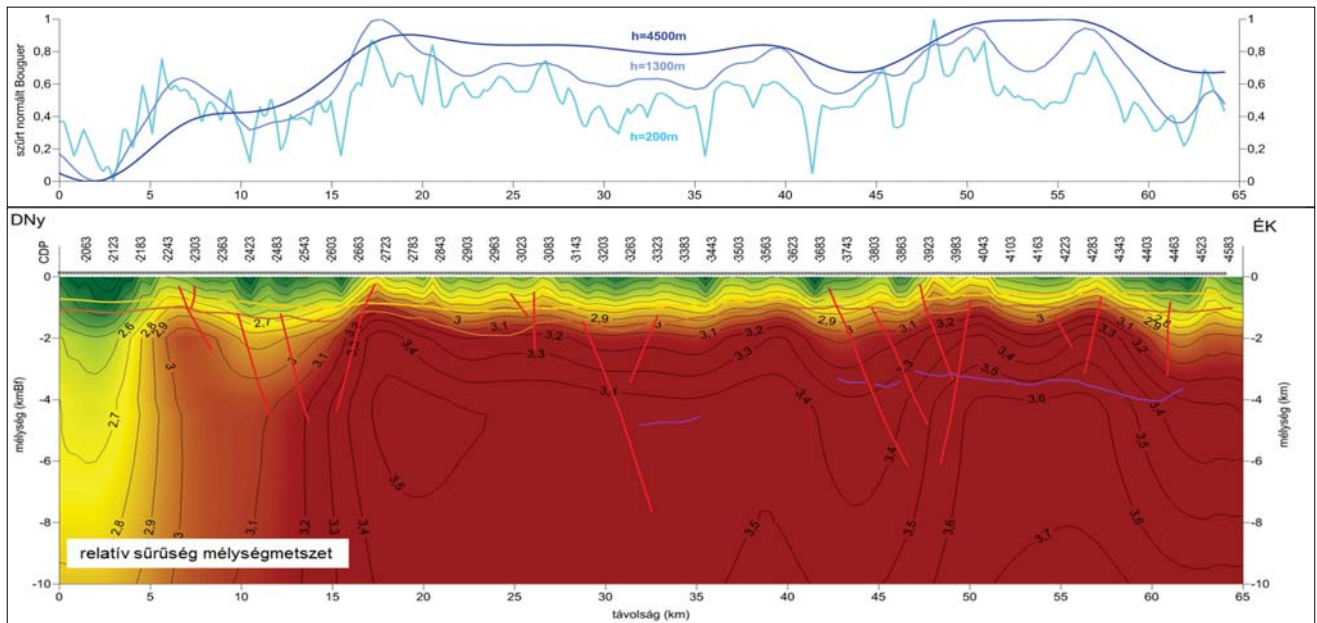
A spektrális szűrés után a 4500 m-es mélység görbében (21. ábra, felül, sötétkék görbe) 3 blokk különíthető el (0–17 vkm, 17–40 vkm és a 47–58 vkm), valamint az azokat elválasztó szerkezeti zónák. Az 1300 m-es szinten megjelenő lokális anomáliák (21. ábra, felül, középkék görbe) már a miocén összletekkel lehetnek kapcsolatban.

A relatív sűrűségi mélységmetszet (21. ábra, alul) jól mutatja az első 15 vkm különbözőségét és a 44 vkm, vala-



20. ábra Nyi-7 szeizmikus mélységsvény és alapgörbéi {gravitációs Bouguer-anomália-, mágneses ΔT -anomália- és tellurikus vezetőképesség-anomália-görbék (felül), értelmezett szeizmikus mélységsvény (alul)}

Figure 20 Nyi-7 seismic depth section and base curves {gravitational Bouguer anomaly, magnetic ΔT anomaly and telluric conductivity anomaly curves (top), interpreted seismic depth section (bottom)}



21. ábra Nyi-7 relatív sűrűségi mélységmetszet (szűrt, normált gravitációs anomáliagörbék (felül) és sűrűségmetszet szeizmikus értelmezési szintekkel (alul))

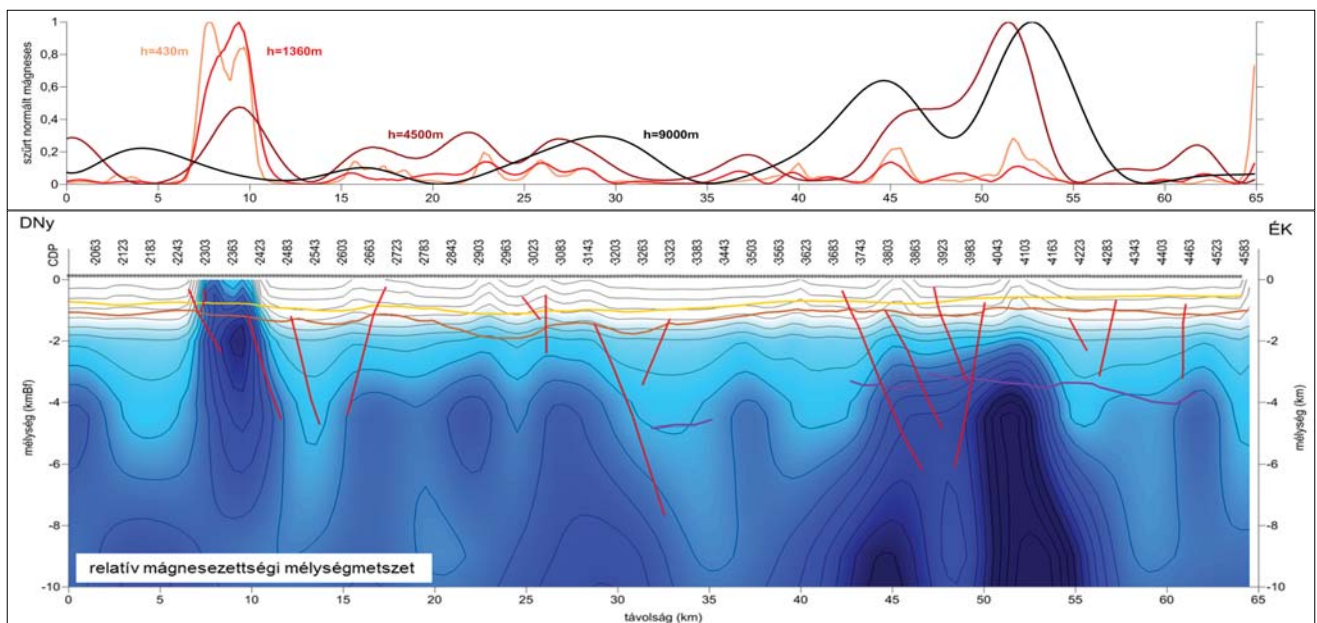
Figure 21 Nyi-7 relative density depth section (filtered, normalized gravity anomaly curves (top) and density section with seismic interpretation levels (bottom))

mint a 62 vkm környéki mélyszerkezeteket az izovonalak alapján. Ezek közül az első 15 vkm a legjelentősebb, amely már nemcsak egy szimpla szerkezet lehet, hanem egyrészt egy széles, mélyülő üledékes/vulkántörmelékes medence és egy mélyebb fellazulási zóna.

Vizsgáljuk meg, hogy a sűrűségmetszetnek milyen kapcsolata lehet a bázisos miocén vulkanitokkal! Ehhez elké-

szítettük a relatív mágnesezettségi mélységmetszetet (22. ábra, alul) a spektrális szűrés normált változékonysági görbéinek felhasználásával (22. ábra, felül).

7–10 vkm között, ott ahol a sűrűségmetszeten is egy lokális maximumot látunk, felszínközeli mágneses hatót jelez a mágnesezettségi mélységmetszet – a 430 és 1360 m-es spektrális mélységek szűrt, normált változékonysági gör-



22. ábra Nyi-7 relatív mágnesezettségi mélységmetszet (szűrt, és normált mágneses változékonysági görbék (felül) és mágneses mélységmetszet a szeizmikus értelmezési szintekkel (alul))

Figure 22 Nyi-7 relative magnetization depth section (filtered and normalized magnetic variability curves (top) and magnetic depth section with seismic interpretation levels (bottom))

béjén is domináns maximumként jelentkeznek, és 4500 m-es mélység görbéjén is azonosítható.

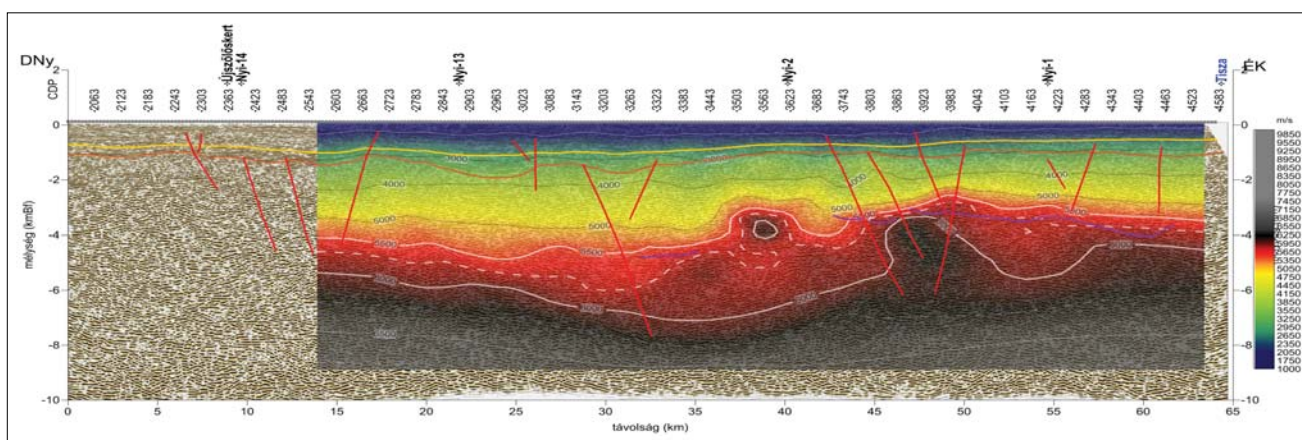
A másik maximumvonalat 40–57 vkm között azonosítható, de ez már csak a 4500 és 9000 m-es spektrális mélységek mágneses változékonysági görbéjén jelenik meg. Ez a hatás tehát jóval mélyebb (egyfajta gyökérzóna), a felszínt már csak elenyésző méretű/mágnesezettségű hatók közelítik meg. A 9000 m-es mélység görbéjének kettős maximuma már lehet, hogy egy nagy, kiterjedt méretű testnek a két peremét adja meg. A maximumok közötti minimumzónában is mágneses anyag, bázisos vulkanit lehet. Látszik a metszett alapján, hogy 4 km körüli mélységben több kisebb lokális mágneses maximum feltételezhető.

A szelvény nyomvonalának egy részét lefedi a szeizmikus tomografikus mérés, aminek eredményét a 6. ábra mutatja. A 6. ábra mögé beillesztettük a szeizmikus reflexiók

mélységszelvényét az értelmezett szintekkel és a tektonikával (23. ábra). Jelentős sebességugrás 3–5 km-es mélységben jelentkezik 37–40 vkm és 45–52 vkm között, amely anomális zónákat a mágnesezettségi metszeten is azonosítani lehet. Sajnos a 10 vkm-nél azonosított felszínközeli mágneses ható helyét a kisvárdai projekt mérései nem fedték le.

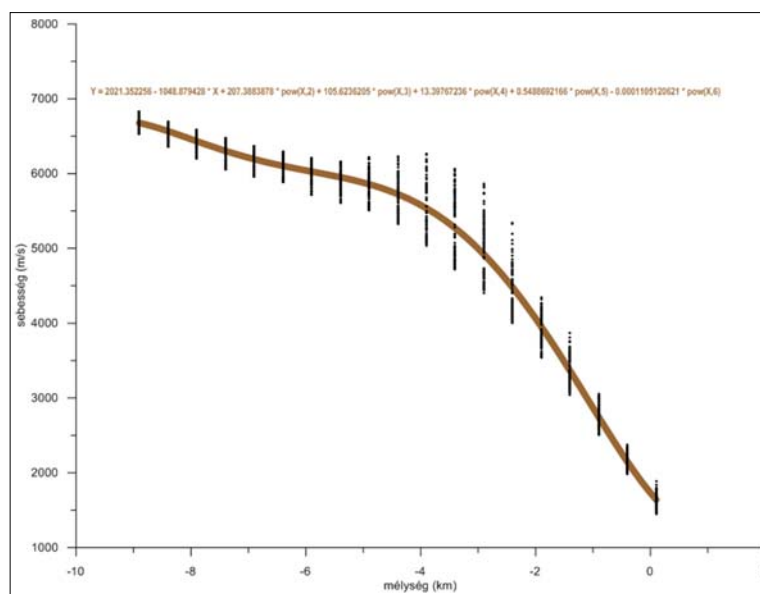
A szelvényre meghatároztuk az átlagos sebességmélység trendet (24. ábra), amely leírja 10 km-es mélységig a sebesség átlagos menetét. Az összefüggés segítségével, ahogyan a CEL04- és CEL06-szelvények esetében már megtettük, itt is meg tudjuk határozni a sebességanomáliát, azaz a normális sebességnövekedéshez viszonyított anomális kitérőket.

Egy hatodfokú polinom írja le a mélység (x) és a sebesség (y) kapcsolatát:



23. ábra | Szeizmikus P-hullám-sebesség eloszlása (színkulcs szerint) és a szeizmikus reflexiók mélységszelvény az értelmezett szintekkel és szerkezetekkel a Nyi-7-szelvény mentén

Figure 23 | Seismic P-wave velocity distribution (by colour key) and seismic reflection depth section with interpreted levels and structures along the Nyi-7 section



24. ábra | Az átlagos sebességtrend (barna vonal) meghatározása a Nyi-7-sebesség adatai alapján

Figure 24 | Determining the average velocity trend (brown line) from the Nyi-7 seismic refraction data

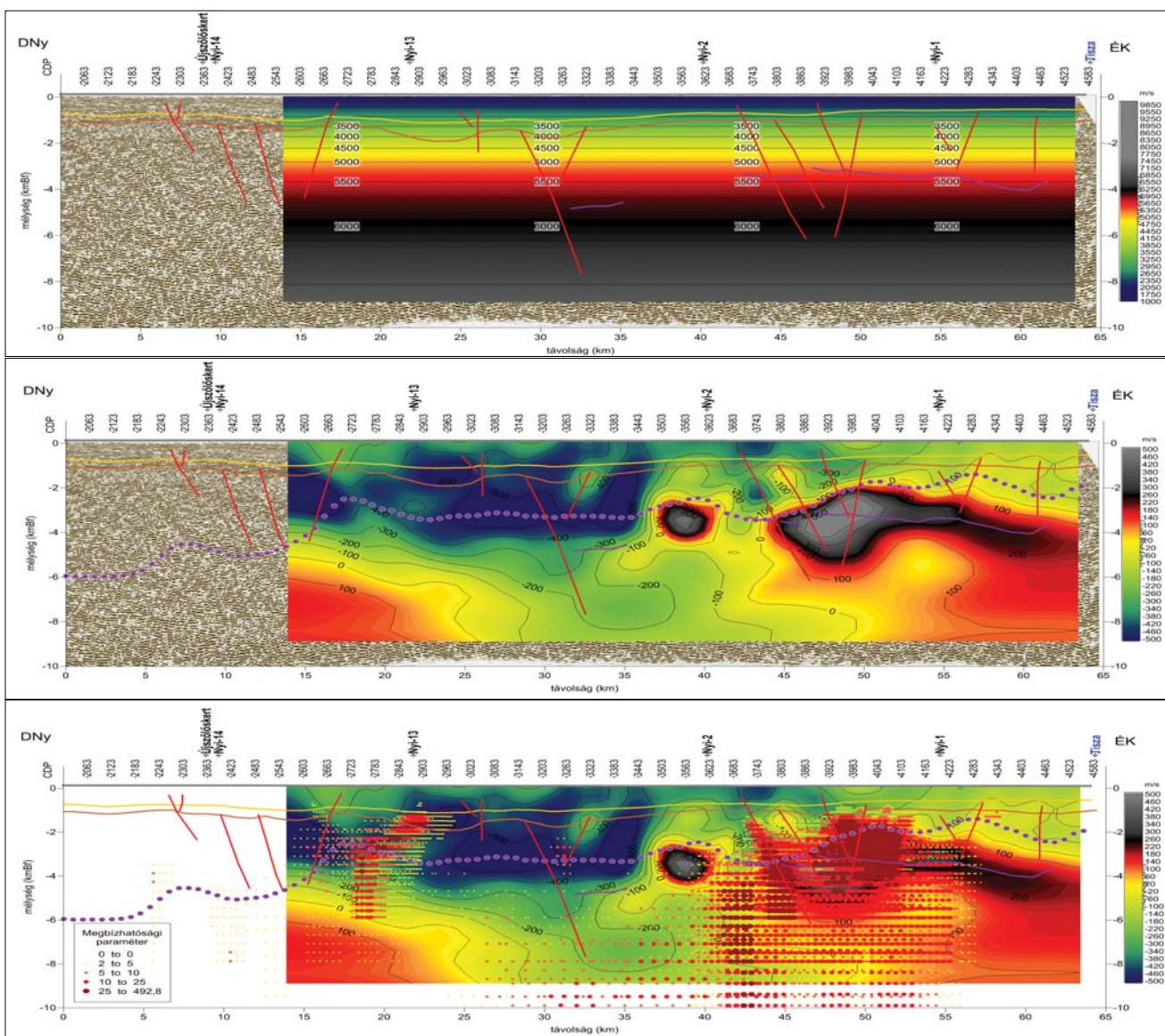
$$y = 2021,352256 - 1048,879428x + 207,3883878x^2 + 105,6236205x^3 + 13,39767236x^4 + 0,5488692166x^5 - 0,0001105120621x^6.$$

Az illesztett görbéből az látszik, hogy a sebesség a felszíntől gyorsan, folyamatosan szinte lineárisan nő 3,5 km-es mélységig, ott a menet megtörik, és egy sokkal kisebb növekedési trend áll be. A mélységi pont ($h = 3,5$ km; $v = 5500$ m/s), ahol a változás bekövetkezik, ott a két oldalról végzett lineáris illesztés metszéspontja a laza törmelék és a kristályos kőzetek határát adja meg.

Az is látszik, hogy az adatrendszer szórása éppen ezen a helyen a legnagyobb, ami azt jelzi, hogy ez a szint a szelvény mentén nem állandó, hanem változik. Számunkra pedig, éppen ez talán a legérdekesebb, ahol a sebesség eltér a várttól, azért mert ott vagy változik a medencealjzat szint-

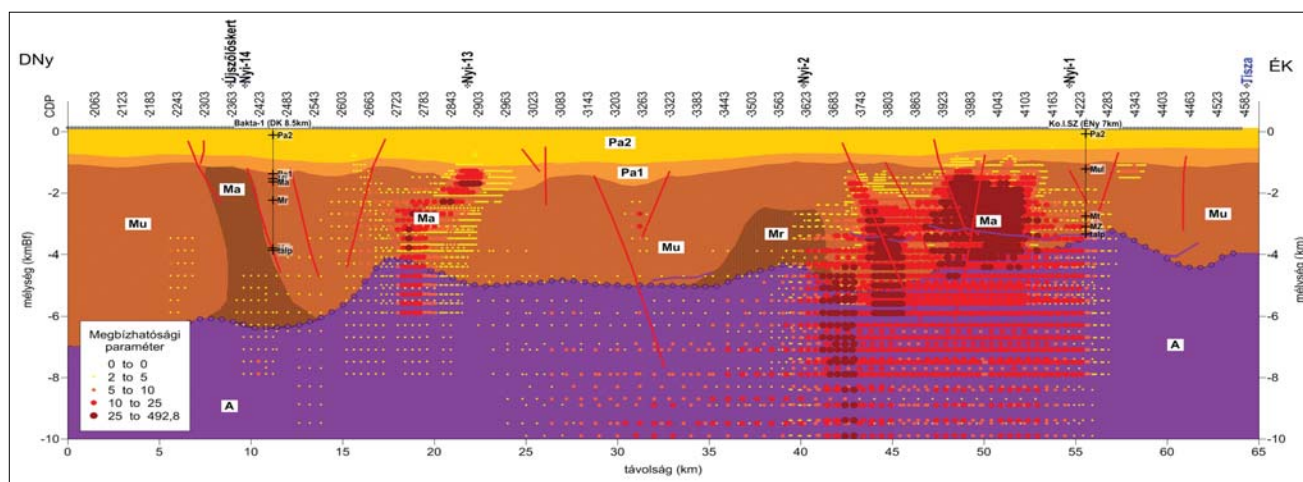
je, vagy pozitív sebességanomália esetén miocén lávaképződmények megjelenése várható. A negatív értékek fellazulási zónára, mélyülő medencére vagy tektonikára utalhatnak.

A sebességgrácsból (23. ábra) kivonva az átlagos sebésztrendet (25. ábra, felül), megkapjuk a sebességanomália-szelvényt (25. ábra, közepén). A legnagyobb pozitív anomáliák a szeizmikus és gravitációs medencealjzat szintjén jelentkeznek. Ha feltételezzük, hogy a medencealjzat szintjén nincs jelentős kőzettani váltás, akkor az anomáliák a miocén lávaképződményeknek köszönhetően alakultak ki. Ezt megerősíti a sebességanomália és a Naudy-féle hatókijelölés egybeesése (25. ábra, alul) 45–53 vkm között, 2–5 km mélységben, ahol a pozitív sebességanomália a Naudy-féle feldolgozás szerint mágneses ható is egyben. A 36–40 vkm közötti pozitív sebességanomália kapcsolódik



25. ábra Átlagos sebésztrend (felül) és a sebességanomália (középen), azaz az átlagos sebészménntől való eltérés és a sebességanomália a Naudy-féle hatókijelöléssel (alul) a Nyi-7-szelvény mentén (lila pöttyökkel a várható gravitációs medencealjzat-mélység van jelölve)

Figure 25 Average velocity-depth trend (top) and velocity anomaly (middle), i.e. deviation from the average velocity trend and velocity anomaly with Naudy's magnetic solutions (below) along the Nyi-7 section (purple dots indicate the expected gravity basin depth)



26. ábra A Nyi-7-szelvény értelmezése a mágneses Naudy-féle hatókijelöléssel (Pa2 – felsőpannon, Pa1 – alsópannon, Mu – miocén üledék, Ma – miocén andezit, Mr – miocén riolit, A – medencealjzat)

Figure 26 Nyi-7 interpretation section with the magnetic Naudy's solutions (Pa2 – upper Pannonian, Pa1 – lower Pannonian, Mu – Miocene sediment, Ma – Miocene andesite, Mr – Miocene rhyolite, A – basement)

az előző mágneses ható tömbjéhez, de úgy látszik, hogy ez már kevésbé, vagy egyáltalán nem mágneses, esetleg a kis mérete miatt nem jelenik meg a mágneses feldolgozásokban.

A 26. ábra a szeizmikus, gravitációs és mágneses adatok alapján készített értelmezési szelvény látható. Az értelmezett szelvényen a Naudy-féle hatókijelölés eredményei is megjelennek, amelyek segítenek a bázisos vulkanitok azonosításában. A Bakta-1 mélyfúrásban a 2260 m vastag vulkáni összletben csak egy 40 m vastag andezitréteget írtak le a többi riolit- és dácittufa. A Komoró-1 mélyfúrásban, 1180 m vastag vulkáni összletben csak 200 m vastag andezitréteget írtak le. Mindkét fúrás andezites képződményeit a Baskói Andezit Formációba sorolták be.

Következtetések

A Nyírség területén lemerített mélyszeizmikus mérések további kiegészítő információt szolgáltathatnak a medencealjzat, illetve a vastag vulkáni, elsősorban lávaképződmények helyzetéről.

A szeizmikus tomografikus feldolgozás eredményei alapján a medencealjzat mélysége vagy nagyobb, mint korábban feltételeztük (pl. Haas et al. 2010), vagy a prekainozoos medencealjzatot felépítő képződmények nem kristályos kőzetek lesznek, erre példa lehet a terület D-i részén megjelenő kréta-paleogén flis. Az 5 km-nél mélyebben megjelenő kristályos kőzet sebessége viszont 6000 m/s-tól kezdődik, ami 1000 m/s-mal nagyobb, mint az országosan alkalmazott és elfogadott aljzatsebesség-érték. Ezek a medencealjzat-mélység és sebességadatokat a sebességmélység összefüggésekből (12., 18., 24. ábra) határozottan kirajzolódhatnak.

Az átlagos sebességmenet megismerése, illetve annak kiszűrése után kapott sebességanomália-szelvények a relatív változásokra (átlagos menettől való eltérésre) hívják fel

a figyelmet, amit a Nyírség esetében leginkább a változatos vulkáni képződmények okoznak. A szórványos és nem kellően mély fúrások miatt ezt csak feltételezzük, de a Nyírségben más közvetlen bizonyítékok, amelyek ezt esetleg cáfolnák, nem állnak rendelkezésre.

A litoszférakutató szeizmikus mérések és a sebességanomáliák vizsgálata alapján megvan a lehetőség a fedő vulkanitok (elsősorban lávaképződmények) kimutatására, ami persze csak egy bizonyos méret és térfogat felett azonosítható a feldolgozási eredményekben – a szeizmikus geofontávolságok (illetve robbantási pont távolságok) függvényében. A sebességanomáliák szélsőértékei, a relatív sűrűség-eloszlások és relatív mágnesezettségi mélységmetszetek, valamint a Naudy-féle mágneses automatikus hatókijelölés alkalmazása a komplex értelmezés során sok esetben jelzi a fizikai paraméterek hirtelen változását, amit a Nyírségben leginkább a vulkanitok helyzetével tudunk kapcsolatba hozni.

Köszönetnyilvánítás

Köszönet illeti a CELEBRATION-2000 és a KISVÁRDA-2003 projektek résztvevőit, elsősorban a litoszférakutató projektekben kulcsszerepet vállaló szakembereket és munkatársakat, mint például *Albu István, Polcz Iván, Bodoky Tamás, Hajnal Zoltán, Hegedűs Endre, Fancsik Tamás, Kovács Attila Csaba, Csabafi Róbert* és az ELGI litoszférakutató részlegének munkatársait. A cikk az ő munkájuk, eredményeik és feldolgozásaik, valamint az elmúlt egy-két év erőter-geofizikai feldolgozási eredményeinek felhasználásával tett próbálkozást komplex értelmezésre a Nyírség területén.

A tanulmány szerzője

Kiss János

Jegyzetek

¹⁾ MBFSZ alapkutatói projekt

²⁾ A mérés maga egy viszonylag nagy geofonközzel lemért szeizmikus mérés volt, amelyet az első beérkezésekből számolt tomografikus eljárással dolgoztak fel. A méréseket elvileg ugyanúgy refrakciósan vagy reflexiósan is fel lehetett volna dolgozni (a számításgépi és a mérés során elkövetett hibák azonban nem tették lehetővé más feldolgozási eljárást).

³⁾ vkm = vonal- vagy szelvénykilométer

⁴⁾ voxel = háromdimenziós adatrács

⁵⁾ Kiss és Vértesy (2020)

Relatív sűrűségméllység-metszet – Kiss és Vértesy (2020) által publikált eljárás, amely a gravitációs Bouguer-anomália spektrálanalízise alapján végzett mélységi szűrések eredményét, valamint a normál tömörödési trendet használja fel a relatív sűrűségviszonyok meghatározására és a mélységmetszet elkészítésére.

Relatív mágnesezettségi mélységmetszet – Kiss és Vértesy (2020) által publikált eljárás, amely a mágneses anomáliák spektrálanalízise alapján végzett mélységi szűrések eredményét, azok változékonyságát használja fel a relatív mágnesezettségi viszonyok meghatározására és a mélységmetszet elkészítésére.

Sebességanomália (maradéksebesség, reziduál sebesség) – Kiss (2005) által publikált eljárás a szeizmikus tomografikus feldolgozás eredményeképpen előállt sebességeloszlásból a szelvény mentén meghatározott általános sebességtrend (sebesség-mélység összefüggés) eltávolítása után kapott eltérés, amelyet nevezhetünk sebességanomáliának.

Hivatkozások

Bodoky T., Jánvári J., Nemesi L., Polcz I., Szeidovitz Gy.-né Zs. (1977): Komplex geofizikai kutatások eredményei a Nyírségben. *Általános Földtani Szemle*, 10, 5–44.

Braun B. Á., Fancsik T., Sebe I. (2019): Nyírségi szubvulkáni zónák szeizmikus reflexiók modellezése. *Magyar Geofizika*, 60/2, 65–74.

Guterch A., Grad M., Keller G. R., Posgay K., Vozar J., Spicak A., Brueckl E., Hajnal Z., Thybo H., Selvi O. (2000): CELEBRATION (2000): Huge seismic experiment in Central Europe. *Geologica Carpathica*, 51/6, 413–414

Haas J., Budai T. (eds), Csontos L., Fodor L., Konrád Gy., Koroknai B. (2014): Geology of the pre-Cenozoic basement of Hungary. Explanatory notes for “Pre-Cenozoic geological map of Hungary” (1:500000). Geological and Geophysical Institute of Hungary, Budapest. ISBN 978-963-671-299-0

Hajnal Z., Hegedűs E., Keller G. R., Fancsik T., Kovács A. Cs., Csabafi R. (2004): Low-frequency 3-D seismic survey of upper crustal magmatic intrusions in the northeastern Pannonian Basin of Hungary. *Tectonophysics*, 388, 239–252.

Hegedűs E. (2002): „Litoszférakutatás” 2002. évi beszámolója (PPT előadás). ELGI archívum

Hegedűs E. (2004): „Litoszférakutatás” 2004. évi beszámolója (PPT előadás). ELGI archívum

Hegedűs E. (2005): Seismic probing of the Pannonian lithosphere from the basin substratum down to the lower crust. PhD Thesis

Hegedűs E., Posgay K., Bodoky T., Fancsik T., Kovács A. Cs., Csabafi R. and CELEBRATION Working Group (2002): 3D Refraction tomographic images from the Matra-Zemplén Region. In: Proceedings of XVII Congress of Carpathian-Balkan Geological Association Bratislava, September 1st–4th 2002 and Guide to Geological Excursions, VEDA Publishing House of the Slovak Academy of Science, Bratislava

Kilényi É., Kröll A., Obernauer D., Sefara J., Steinhäuser P., Szabó Z., Wessely G. (1991): Pre-tertiary basement contour map of the Carpathian Basin beneath Austria, Czechoslovakia and Hungary. *Geophysical Transactions*, 36/1–2, 15–36.

Kiss J. (2005): A CELEBRATION-7 szelvény komplex geofizikai vizsgálata, és a „sebesség-anomália” fogalma. *Magyar Geofizika*, 46/1, 25–34.

Kiss J. (2009): A CEL08-szelvény geofizikai vizsgálata. *Magyar Geofizika*, 50/2, 59–74.

Kiss J., Cserkés-Nagy Á., Zilahi-Sebess L., Rádi K., Vértesy L., Gulyás Á., Bauer M., Takács E., Gúthy T., Orosz L., Deák Zs. V., Paszera Gy. (2019): GOFO-5 mélyföldtani kutatások geofizikai módszerekkel. MBFSZ Kézirat, MBFG Adattár, p. 58.

Kiss J., Vértesy L., Zilahi-Sebess L., Takács E., Gulyás Á. (2019): A Nyírség geofizikai kutatása. *Magyar Geofizika*, 60/3, 103–130.

Zelt C. A., Smith R. B. (1992): Seismic travel time inversion for 2-D crustal velocity structure. *Geophys. J. Int.*, 108, 16–34.

Zelt C. (1993): RAYINVR: 2-D travel time inversion and amplitude modeling programs, FAST: 3-D First Arrival Seismic Tomography programs. <http://terra.rice.edu/departament/faculty/zelt/>

Még néhány mondat a paksi kutatási jelentéshez

Prónay Zs.

E-mail: pronayzsolt@gmail.com

A *Magyar Geofizikában* Bodoky Tamás tollából megjelent, a paksi kutatási jelentésben lévő S-hullám-szeizmikus szelvényeken látható felszínközeli vetők értelmezését vizsgáló cikkén fellelkesedve, a jelentésben lévő egyetlen szeizmikus felvétel alapján megvizsgáltam, hogy mire lehet képes az S-hullám-szeizmika a területen. Képes lehet-e – legalábbis elvileg – az engedélyezés szempontjából kritikus határt jelentő 0,5 m-es elmozdulások leképezésére. A vizsgálatok alapján megállapítottam, hogy a használt geofonköz, a hullámforrásokkal elért jelfrekvencia nem eredményez megfelelő felbontóképességet, valamint a feldolgozás minőségét is kérdésessé teszi.

After publishing the paper “To the margin of an exploration report” by Tamás Bodoky in Hungarian Geophysics dealing with the interpretation of near surface faults on the seismic S-wave sections measured in the project area of Paks II. NPP it was investigated using the only record available in the report what are the possibilities of the method. Is it possible to image the 0.5 m displacements which is a crucial licensing requirement? It was proved that the geophone spacing applied, the dominant frequency obtained do not result sufficient resolution end for that parameters even the quality of the processing is questionable.

Beérkezett: 2021. augusztus 9.; *elfogadva:* 2021. szeptember 1.

Bevezetés

Bodoky Tamás a *Magyar Geofizika* 61/4. számában megjelent „Egy kutatási jelentés margójára” [1] című cikkében megvizsgálta a Paks-II. földtani vizsgálatához a telephelyen belül mért S-hullám-szeizmikus szelvényeket, és újraértelmezte azokat neotektonika jeleit keresve rajtuk. A szerző a kész, feldolgozott S-hullám-reflexiós szelvényeket értelmezte újra a felszínközeli vetők szempontjából. A mérés paramétereit és a feldolgozást nem vizsgálta, részben azért, mert a képként rendelkezésére álló szelvényekhez „a szokásos szeizmikusadat-feldolgozás eszközeivel – amelyek egy otthoni gépen amúgy sem állnak rendelkezésre – nem férünk hozzájuk” [1]. A cikk elolvasása után újra megnéztem a „Felszíni geofizikai kutatások értékelő jelentése” [2] című összefoglalóban lévő egyszem szeizmogramot, és kétségeim támadtak a mérések tervezésével, kivitelezésével és feldolgozásával kapcsolatban.

A hazai és az orosz szabályozás alapján [3, 4] ugyanis a földrengésbiztonsági kutatásoknak azt kell bizonyítaniuk, hogy a telephelyen belül a Dunaszentgyörgy–Harta vetőzóna elmozdulásai a negyedkori rétegeket nem érik el, azokba nem hatolnak be – illetve, ha mégis –, akkor a hatásuk ott elhanyagolhatóan csekély. Az orosz szabályzás szerint az elmozdulásoknak fél méter alatt kell maradniuk [4],

ez a vetők méretével kapcsolatban elhangzó egyetlen konkrét szám. Mivel – értelmezésem szerint – ez azt jelenti, hogy már egy fél méteres vető is kizáró oknak számít, ezért a geofizikai mérések tervezése során olyan módszereket és paramétereket kell választani, amelyek – legalább elméletileg – ki tudják mutatni a 0,5 m-es vetőket is. A cikkben e feltételek megvalósulását vizsgálom, kizárólag a függőleges irányú elmozdulások esetében, mert az ilyen kis vízszintes elmozdulások kimutatása 2D módszerekkel eleve reménytelen.

A „Felszíni geofizikai kutatások értékelő jelentése” [2] című anyagban található, általam hozzáférhető egyetlen terapi felvétel alapján azonban úgy tűnik, hogy az S-hullám-reflexiós mérések paramétereit nem voltak alkalmasak a kvarter rétegsor megfelelő felbontású vizsgálatára, amelyen belül az elmozdulások mértékét kellett volna meghatározni. Ha ehhez hozzávesszük, hogy a geoelektromos mérésekkel is hasonló a helyzet, hogy a talajvizet „megtaláló” P-hullám-refrakcióról ne is beszéljünk, akkor azt mondhatjuk, hogy szinte csak az árkok és a fúrások vizsgálták valójában ezt az egész atomerőmű engedélyezése szempontjából lényeges térrészt.

Ebben a cikkben – a kevés rendelkezésemre álló adat miatt – csak egy, a telephelyen kívül, de annak vizsgálatra előírt 10 km-es környezetén belül mért szelvényt tudok

vizsgálni, amely a Duna bal partján helyezkedik el. A kutatásban a telephelyen kívül és belül is ugyanazokat a módszereket és paramétereket használták, de az eltérő földtani viszonyok miatt a levont következtetések nem feltétlenül általánosíthatók a teljes vizsgált területre. A telephelyen belüli szeizmikus mérések esetében az akár 2–5 m vastag feltöltésben a jelek nagyfrekvenciás komponensei jobban csillapodnak, miközben az alatta lévő rétegsorban, az ártéri kavicsokhoz képest, várhatóan nagyobb az S-hullám-sebesség. Mindkét tényező külön-külön is növeli a jelek hullámhosszát, ennek alapján a telephelyen belül sem várható a kintinél jobb felbontóképesség, viszont – szerencsés esetben – a reflexiók beérkezései jobban elkülönülhetnek egymástól. A telephelyen belüli kutatást egyébként is jelentősen nehezítették a környezeti zajok, valamint – ahogy a jelentés idevágó részében ezt a szerzők megfogalmazták [2] – „a szelvényminőséget befolyásoló legjelentősebb felszíni hatást az utak és betonlappal borított területek mentén tapasztalt jeltorzító hatások jelentették”. Érdekes ezzel kapcsolatban a felszíni geofizikai kutatások jelentés [2] 81. ábráját megnézni, ahol a telephely északi, egyébként legkevésbé zajos részén mért sekélyreflexiók szelvénynek éppen az a tartománya nem értelmezhető a felszínközeli hatók miatt (utak, beton alapok), ami a kutatás szempontjából a leginkább érdekes lenne.

A reflexiók mérésekről általában

A reflexiók mérések „használatosságát” – sok egyéb mellett – leginkább a következő tényezők határozzák meg:

- *Frekvencia*: a rétegek sebességével együtt a hullámhossz, ezzel pedig a reflexiók mérések felbontóképességét határozzák meg. Minél nagyobb az alkalmazott, pontosabban a rétegsor által átengedett frekvencia, annál jobb a mérés felbontóképessége.
- *Fedésszám*: azt határozza meg, hogy egy adott mélységpontban hány, különböző adó-vevő távolsággal (ofszettel) mért csatornát összegzünk. Minél nagyobb, annál jobb a szelvény jel/zaj viszonya. A fedésszám a mélység-

gel változhat, általában nő. Értéke a frekvenciával együtt azt is meghatározza, hogy a sebességanalízis során mennyire pontosan tudjuk meghatározni a sebességeket (általában a csatornákat különböző sebességeket feltételezve korrigáljuk, majd összegezzük, és ezek közül választjuk ki azt a sebességet, ahol a maximális reflexióerősséget kapjuk).

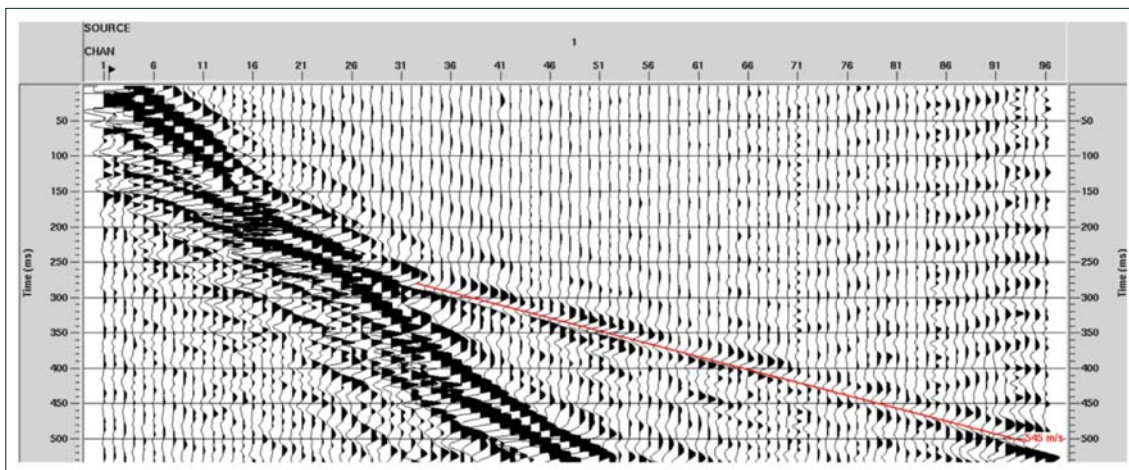
A most vizsgált mélységtartományt a hagyományos szénhidrogén-kutató szeizmikában egységesen laza rétegnek nevezik, és a statikus korrekció (a domborzat és a laza réteg sebesség- és vastagságváltozásainak korrekciója) során általában levágják [5], mert nagymértékű inhomogenitása miatt csak „útban van” a feldolgozás során. Ezért a mérések tervezése különös hozzáértést és figyelmet igényel, nem elegendő a hagyományos szeizmikában megszokott tervezési rutin alkalmazása [6].

Az S-hullám-mérések – az „optimum window”

Az S-hullám-mérések célja a 2D P-hullám-szelvényeken „leképezett legfiatalabb rétegeket is harántoló vetők” [2] követése volt a kisebb mélységek felé. Erre a P-hullám-méréshez képest kisebb geofon- és robbantópontköz, valamint a kisebb S-hullám-sebesség miatti nagyobb felbontóképesség valóban lehetőséget is adott. A mérések zömét az MFGI szakemberei végezték, míg az egyik szelvény egy szakaszán a Geomega Kft. végzett reflexiók szelvényezést. A jelentés szerint [2] az MFGI-mérések paraméterei a következők voltak:

Forrás

- *típus*: elektrodinamikus vibrátor SH típusú hullámgerjesztéshez kb. 7 kg mozgó tömeggel
- *gyártó*: Geosym GmbH (Hannover, Németország)
- *típus*: ELVIS III S8 elektrodinamikus vibrátor
- *sweepfrekvencia*: 20–80 Hz
- *forrásponttávolság*: 2 m
- *gerjesztések száma*: pontonként 2, ellentétes irányból indítva



1. ábra. Korrelált S-hullám-felvétel [2]

Észlelés

- *adatgyűjtő műszer*: 428XL Lite Acquisition System 408-as FDU-kal
- *geofonok*: Longet, 10 Hz-es egyedi, horizontális geofonok (LGT-20D10H)
- *aktív csatornák száma*: 96 db
- *geofonpont-távolság*: 2 m
- *felvételhossz*: 11 sec (10 sec sweep + 1000 ms)
- *mintavétel*: 0,5 ms

Az egyik, fenti paraméterekkel mért szelvényt, vélhetőleg nem a legrosszabbat, a jelentés [2] 34. oldalán tették közzé a következő ábrafelirattal (1. ábra): „22. ábra: Pa-22-S szelvény első robbantóponti felvétele. A piros vonal kvarter-pannon réteghatárról refraktált hullámra illesztett egyenes, mely 545 m/s becsült refraktor sebességet eredményez”.

Az ábrán a szerzők piros vonallal bejelölték a pannon-kvarter határról beérkező refraktált hullámbeérkezést. Ebből látható, hogy az ugyanerről a réteghatárról jövő reflexiót hol kell keresni a felvételen. Ennek közelítő helyét a 2. ábrán világoskék vonal jelöli. Az összes, minket érdeklő beérkezés ennél kisebb időnél várható. Sajnos azonban a reflexiók felismerésének további korlátai is vannak. A reflexiókat elfedő direkt és felületi hullámokat az egyszerűség kedvéért az ábrán egy lila vonallal jelölttem. Az ettől balra, azaz a kisebb ofszetek (adó-vevő távolság) felé eső idő-ofszet ablakban lehet reflexiókat felismerni. Ha a jelek hullámalakját is figyelembe vesszük, akkor a zölddel beszínezett, sokszöggel lefedett területet kapjuk, ahonnan elméletileg egyáltalán lehetséges reflexiókat kapni. Ez az ún. „optimum window” [7, 8], amely a sekélyreflexiók kutatás tervezésének alapja. Vagyis, ha nagyon megengedőek vagyunk, akkor ennek szélessége a pannon-kvarter határon nagyjából 16 csatorna, de például 50 ms-nál már csak 6. Az ezekhez tartozó elméleti maximális fedésszám így rendre 8 és 3. Véletlen zajt feltételezve a jel/zaj viszony az összegzett csatornák számának, más néven a fedésszámnak a négyzetgyökével nő [9], esetünkben 2,8 és 1,7 szeresére.

Tehát ha feltételezzük, hogy a bemutatottnál rosszabb minőségű felvétel nincs, felvételenként és csatornánként nagyon pontosan ki tudjuk vágni a direkt, refraktált és felületi hullámcsomagokat úgy, hogy a reflexiókat ne „bántuk” (*surgical mute*), akkor az alkalmazott mérési paraméterek mellett 50 ms-nál mélységpontonként 3, azaz három csatornát tudunk összegezni (*stack*), ami 100 ms körül felmegy max. 10-re (de ami ennél az időnél látszik, az inkább a korreláció mellékmaximuma). Valljuk be, ez nem sokat javít a jel/zaj viszonyon, valamint a feldolgozásnál többször is használt „sebességanalízis” mint művelet, elegendő számú csatorna híján, értelmét veszti, pedig a dinamikus korrekciónál (amikor a reflexió változó ofszet miatti görbületét korrigáljuk) a kis sebességből következő nagy időtolások miatt a jó sebességfüggvény alapvető fontosságú.

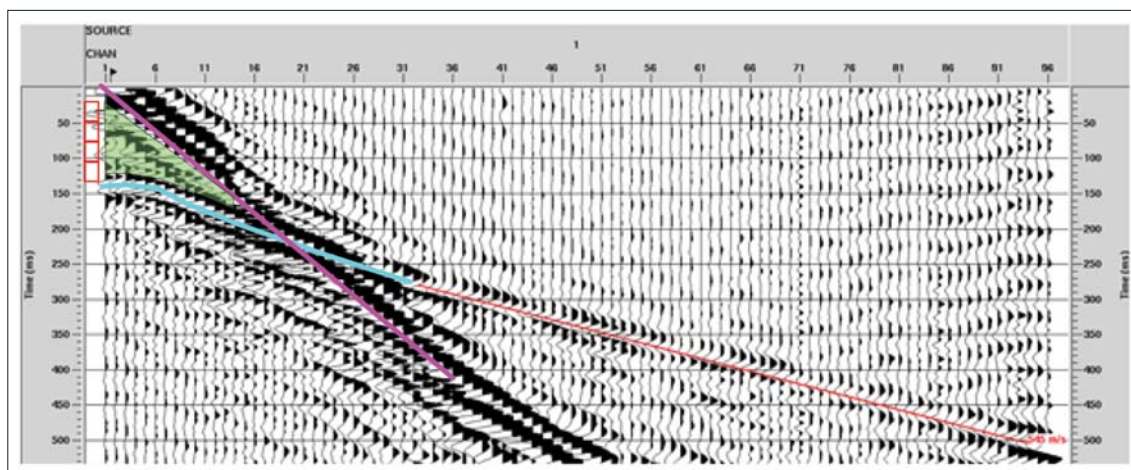
Ezek szerint a lehető legkedvezőbb esetben mért szelvény is csak néhány összestackelt csatornából áll, ami az értelmezéshez vajmi kevésnek tűnik. Ráadásul, ha figyelembe vesszük, hogy:

- vélhetőleg a legjobb felvételt tették be a jelentésbe, vannak tehát rosszabbak is, még kisebb „optimum window”-val,
- a *mute* nem hagyja érintetlenül a más hullámtípushoz közeli, esetleg azzal interferáló reflexiókat, ezáltal vagy visszamarad valami oda nem való beérkezés, vagy tovább csökken a fedésszám,
- a domborzat és a laza feltöltés miatt a statikus korrekció is csökkentheti az értékelhető csatornák számát,

akkor a valóságos helyzet még az eddig leírtaknál is rosszabb.

Az S-hullám-mérések – a frekvencia és a felbontóképesség

Visszaulva a mérési paraméterekre látható, hogy a használt hullámforrás 20–80 Hz közötti frekvenciasávban működött. Bár a csonkító függvényt (*taper*) nem ismerjük, de hogy valami közelítő hullámhosszat számolhassunk, ezért koszinuszfüggvénynek vettük, amely a *sweep* (a szeizmikus



2. ábra. Jellemző beérkezések és az „optimum window” a felvételen

vibrátor által gerjesztett időben változó frekvenciájú jelcsomag) végein 10–10%-ot érint. Így az autokorrelációs függvény – amelynek segítségével a 10 s hosszú sweepből az impulzusforrásokhoz hasonló jelet képeznek – maximumának szélességéből számított elméleti frekvencia nagyjából 56 Hz lehetett. A felvételen lement időkből számított frekvenciák ehhez közel vannak, a két jól látható reflexióra 45 és 52 Hz.

Az érdekesség kedvéért a 2. ábrán látható szelvény bal szélén piros négyszögekkel feltüntettem az első beérkezés környékén mért hullámhosszat. Eszerint a vizsgálható idő-ofszet ablak, amelyben a kvarteren belüli reflexiók vannak, maximum 3,5 hullámhossznyi.

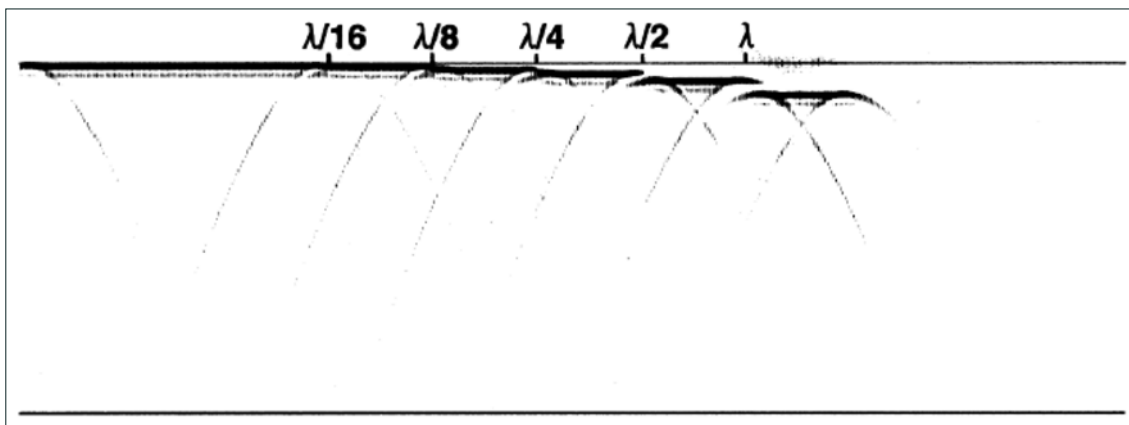
A domináns frekvenciából, a jelentésben leírt [2] 150–170 m/s sebességgel számítva 2,7–3,0 m közötti hullámhosszakot kapunk a negyedidőszaki rétegsorban. Ha a legmegengedőbbek vagyunk, és hullámhossznak a 2,7 m-t és felbontásnak a $\lambda/4$ -et vesszük, az eredmény 0,675 m [5], tehát már optimális esetben és elméletileg sem található meg velük a 0,5 m-es vetők. A vetők elvetési magasságát a hullámhossz függvényében a 3. ábra mutatja. Jól látszik az ábrán, hogy a $\lambda/4$ elvetési magasságot zajmentes, igen jó

minőségű felvételen, gyakorlatilag csak szintetikus szeizmogramon, ismerhetjük fel. Vagyis az adott sweepel elért, legjobb esetben 70 cm körüli elméleti felbontás kevésnek tűnik.

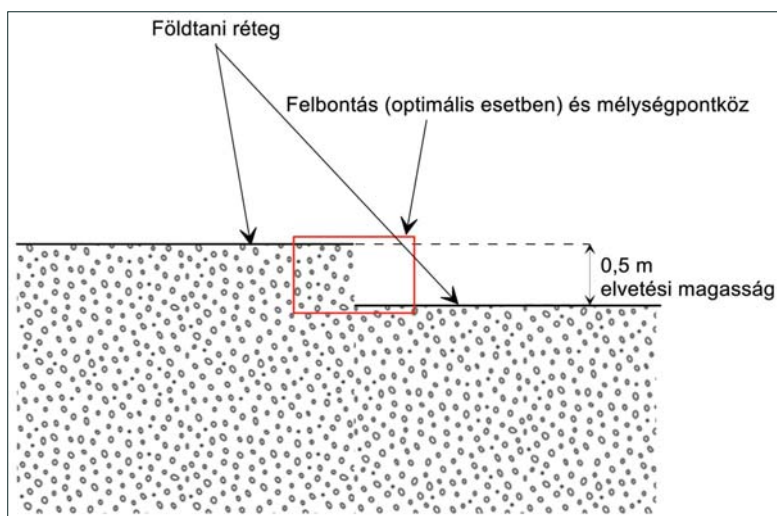
Míndezek ellenére, amennyiben elfogadjuk a hullámhossz negyedét felbontásnak, ami valós helyzetben azért nehezen teljesül, a mérések felbontása, legalábbis vertikális irányban közel volt az elvártnak (4. ábra).

Visszatérve még a frekvenciára, azt találtam, hogy ugyanezen a területen a P-hullám 3D szeizmikus méréseknél végzett frekvenciateszteknel [6], 100 Hz környékén még vannak az S-hullám-mérésnél nagyobb mélységből jövő jelek (a mélyszeizmikus mérés sweepjének felső határfrekvenciája 96 Hz volt). Tehát a 3D mérésekhez használt mérési frekvencia nagyobb volt, mint a kisebb mélységekre kihegyezett, „nagy felbontású” mérés esetében alkalmazott mérési frekvencia!

Bár a mérésekhez használt vibrátor elméletileg az alkalmazottnál nagyobb frekvenciájú jeleket is képes generálni (S-hullám esetében 320 Hz [10]), ha ez a gyakorlatban nem sikerül, máshol kell keresni a megoldást a frekvencia növelésére.



3. ábra. Különböző elvetési magasságú vetők megjelenése a hullámhossz arányában ábrázolva [5]



4. ábra. A keresendő elvetési magasság és az MFGI által végzett S-hullám-reflexiók mérése felbontása (elméletileg, optimális esetben) és mélységpontköze által meghatározott piros téglalap

Ismeretes, hogy a kis tömegű vibrátorok talajhoz csatolása problémás lehet, ami korlátozhatja a maximális elérhető frekvenciát. Erre utal a földtani kutatási program zárójelentésében [11] talált mondat: „Minden egyes vibrálási helyen addig változtatták a vibrátor pozícióját, amíg a vibrátortalpon regisztrált jelcsomag amplitúdóspektruma legjobban megközelítette az elméleti jelalak amplitúdóspektrumát”. A probléma kiküszöbölésére két út lehetséges. Vagy olyan nyomvonalat kell keresni a szelvényeknek, ahol jó lehet a csatolás – például földút –, vagy nagyobb tömegű vibrátort kell használni – például IVI Minivib [12] –, esetleg valamilyen impulzusforrást.

A Geomega Kft. által mért S-hullám-reflexiók szelvény

„A Pa-21-P szelvény kijelölt szakaszán mind az MFGI, mind a Geomega Kft. végzett terepi felvételezést. Mindkét szelvény 1 km hosszban mérődött a Pa-21-P szelvény nyomvonalára mentén, kezdőpontjuk azonban nem egyezik” [2]. Az MFGI mérési paramétereit az előző fejezetekben részletesen vizsgáltam. A Geomega Kft. mérésénél csak az ettől eltérő paraméterek hatását nézem. A mérési paramétereit [2]:

Forrás

- *típus:* S-hullám-kalapács 18 kg mozgó tömeggel, mintegy 330 J energiával
- *forrásponttávolság:* 3 m
- *gerjesztések száma:* pontonként 3–6, egy irányból megütve

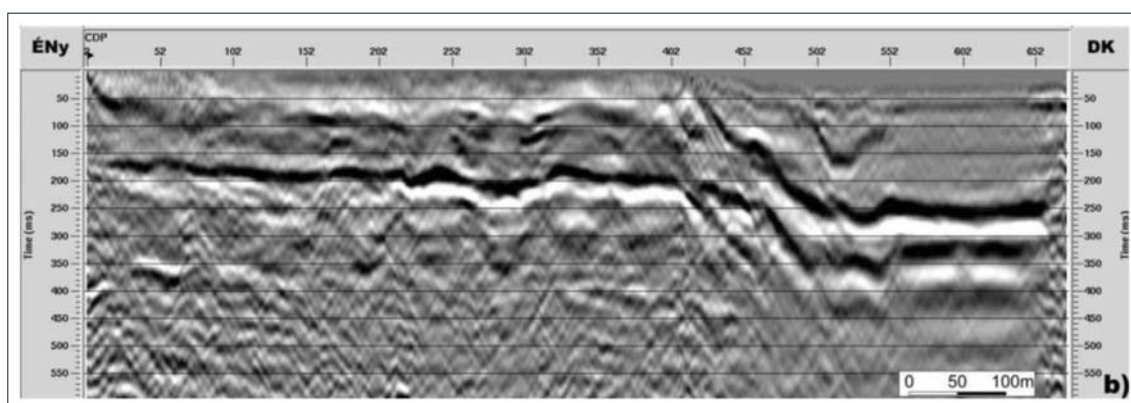
Észlelés

- *adatgyűjtő műszer:* DMT SUMMIT II Compact egységek
- *geofonok:* Geospace GS-30CT 3 komponensű egyedi geofonok
- *ütés irányú horizontális komponens regisztrálásával*
- *aktív csatornák száma:* 60 db
- *geofonpont-távolság:* 3 m
- *felvételhossz:* 1280 ms)
- *mintavétel:* 0,5 ms

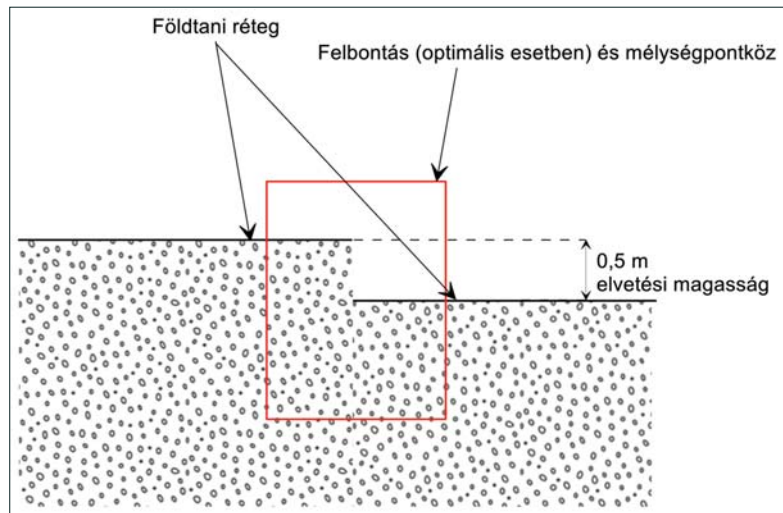
Vizsgáljuk meg a paramétereket ugyanazon szempontok szerint, mint az MFGI-ét! Mind a geofon-, mind a robbantópontköz 2 m-ről 3 m-re nőtt. Ez azt jelenti, hogy az „optimum window”-ba még kevesebb csatorna „fért”, így ha csak ezt nézzük, a 2. ábrán bemutatott felvétel helyén a pannon-kvarter határon 11 db, 50 ms körül pedig 4 db használható csatorna maradt. Így az elméleti maximális fedésszámok 5-re és 2-re csökkentek, ezáltal a javulás a jel/zaj viszonyban 2,2 és 1,4. Vagyis még a keveséssel is kevesebb.

A hullámforrás is megváltozott. A csatolás valószínűleg javult, az energia talán nőtt, ellenben a 18 kg-os mozgó tömeg vélhetőleg kisebb frekvenciákat eredményezett, mint a kis vibrátor. Erről nem találtunk információkat a jelentésben, csak annyit, hogy azért jobb a Geomega szelvénye, mert az ő hullámforrásuk 10 Hz frekvenciát is tudott, szemben az MFGI 20 Hz-ével [11]. Ez a kijelentés nem ördögtől való, ugyanis a jel időbeli hossza annál rövidebb, minél szélesebb az a frekvenciatartományban, tehát a nagyobb sáv szélesség javíthatja a felbontást. Azonban a kétféle módon mért szelvényt együtt nézve – például [2] 31. ábra – jól látható, hogy a Geomega szelvénye jellemzően kisebb frekvenciás. Az ábrán a hullámok időbeli szélességét lemérve, és abból frekvenciát számolva az jön ki, hogy a szelvény kisebb frekvenciás részén, 600 m környékén, a frekvencia kb. 16 Hz, míg a nagyobb frekvenciás részen, 400 m körül, nagyjából 20 Hz. Ha a $\lambda/4$ -gyel definiált elvi felbontóképességet számítjuk, akkor 150 m/s sebességnél 1,9 és 2,3 m közötti értékeket kapunk. Vagyis a szép sima szelvény a vízszintes és függőleges irányú felbontás jelentős csökkenésének „köszönhető”, és a szelvény még elméletileg sem képes a keresett kisebb méretű vetők leképezésére (6. ábra), ráadásul minden paraméterében elmarad az MFGI, ilyen szempontból egyébként szintén problémás méréseitől.

A harmadik, igen lényeges eltérés az MFGI és a Geomega mérés között az, hogy míg az MFGI két irányból gerjesztette az S-hullámokat, addig a Geomega csak egy irányból [2], teljesen elveszítve ezzel annak a lehetőségét, hogy ellenőrizni, vagy igazolni tudják, hogy valóban az S-hullámokat dolgozták fel.



5. ábra. A Pa-21-es szelvény mentén mért Pa-21-S Geomega-szelvény feldolgozott összagszelvénye [2]

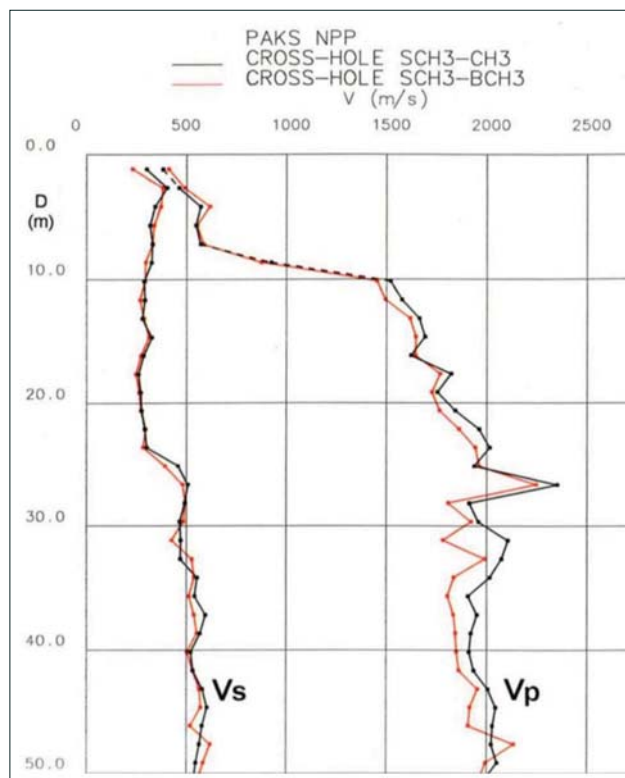


6. ábra. A keresendő elvetési magasság és a Geomega által végzett S-hullám-reflexiós mérés felbontása (elméletileg, optimális esetben) és mélységpontköze által meghatározott piros téglalap

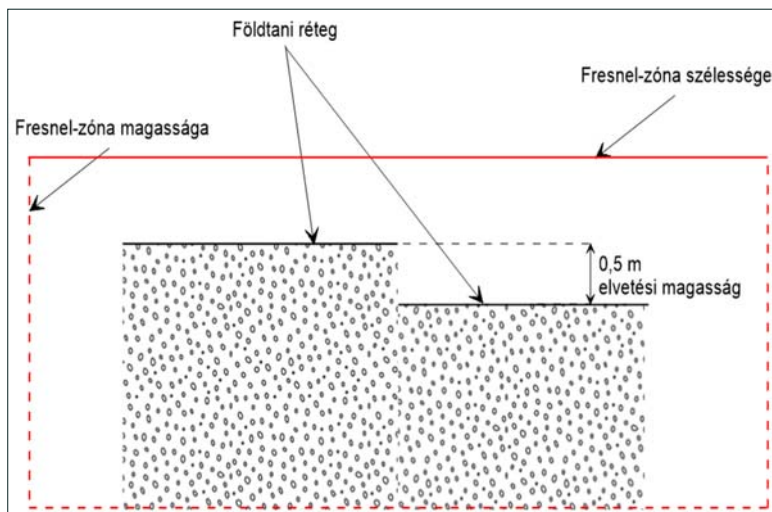
Refrakciós mérések

A geofizikai mérések feldolgozása mindig valamilyen modell feltételezésén alapul. A refrakciós mérések modellje viszonylag egyszerű: egy kis sebességű alatt egy nagy sebességű réteg található, amely miatt a refraktorig a kritikus szöggel le, és onnan a felszínig felmenő és a határfelület mentén terjedő hullám egy bizonyos távolság felett „megelőzi” a laza rétegben terjedő direkt hullámot. A feldolgozás – szerencsés esetben – több réteget is tud kezelni, en-

nek feltétele – sok egyéb mellett –, hogy a mélyebben lévő réteg sebessége minden esetben nagyobb legyen, mint a kisebb mélységben elhelyezkedőé [5]. A P-hullám-refrakció hátrányai között szokták emlegetni [13–15], hogy laza üledékek esetében a talajvízszint – mint jelentős, akár két-háromszoros sebességugrás – korlátozza a behatolási mélységet. A módszer egyszerű modellje, ritka lövési rendszere – és annak köszönhetően, hogy csak az első beérkezéseket használja – nem „szereti” a hirtelen dőlés- és sebességváltozásokat, megszakadó, elugró és ki-



7. ábra. Az ISMES által végzett crosshole-mérések eredményei [17]



8. ábra. A keresendő elvetési magasság és a P-hullám-refrakciós mérés Fresnel-zónái által meghatározott piros téglalap (a szaggatott vonal azt jelzi, hogy nem fér az ábrára)

ékelődő rétegeket [16]. Vagyis pont arra nem való, amire ez esetben használták, ugyanis a jelentés [2] szerint „a paksi telephelyen elvégzett nagy felbontású 2D P-hullám-refrakciós mérések alapvető célja a meglévő földtani információk bővítése...” volt.

Milyen földtani információkra gondolhatott a szerző? Ne feledjük, hogy a geofizikai mérések fő célja a neotektonika vizsgálata. Bodoky Tamás jó szándékú értelmezése szerint [1] „a kiinduló feltételezés feltehetőleg ... az volt, hogy a negyedkori rétegek talpán elegendően nagy, ugrásszerű paraméterváltozás jelentkezik, azaz növekedés a szeizmikus longitudinális hullámok terjedési sebességében”. Ehhez azonban el kellett volna érni a negyedkori rétegek talpát. A mérések tervezését, vagyis inkább annak a megállapítását, hogy a módszer egyáltalán alkalmas-e a feladatra, a környékbeli talajvízszint-figyelő kutak adatai jelentősen elősegíthették volna, de a közelben folyó Dúnának is gyanút kellett volna ébresztenie. De ha ezek sem, akkor az interneten megtalálhatók például az ISMES által 1995-ben végzett *crosshole*-mérések (egymástól néhány méterre lévő fúrások között, azonos mélységben lévő hullámforrással és vevővel végzett mérések) eredményei 7. ábra [17], amelyek egyértelműen mutatják, hogy elérhető-e a refrakciós mérés a kívánt mélységet. Az ábráról leolvasható, hogy a P-hullám-sebesség 10 m körüli mélységben éri el a vízzel telített laza üledékre, gyakorlatilag a vízre, jellemző 1500 m/s sebességet, és alatta fokozatosan nő, addig a víztartalomra csak alig érzékeny S-hullám-sebességben 23–34 m körül van egy sebességnövekedés, ami vélhetően a pannon-kvarter határ.

A refrakciós mérések magyarázó részében ilyen gyöngyszemek találhatók: „ugyanakkor jelentős tényezőként jelentkezhet, hogy a klasszikus refrakciós feldolgozási eljárás során megadott laza réteg sebessége (V_0) az egész területre közel állandó értékű volt ... Összegezve ez annyit jelent, hogy V_0 értéke valójában nem konstans, így a lokális anomáliák nagy része V_0 konstans értéként történő keze-

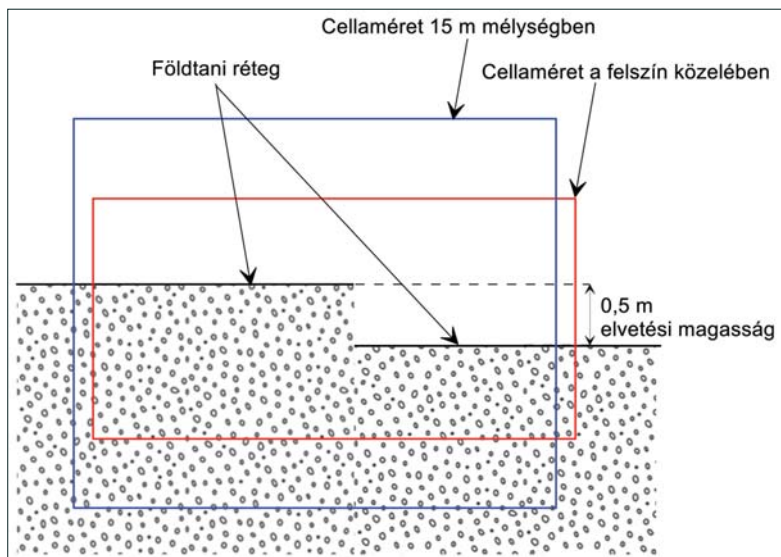
lése miatt keletkezett V_1 sebességperturbációk eredménye”. A legegyszerűbb refrakciós feldolgozás a Hagedoorn-féle, 1959-ben publikált, plusz–mínusz módszer [18] is tudja kezelni a V_0 változásokat. Még egyszer, az évszám: 1959. Ráadásul a kvartert érintő vetők, jó esetben, a V_0 sebesség csökkenésével jelenhetnek meg a refrakciós mérésekben.

Nézzük a szokásos, elvárt és elméleti maximális felbontást összehasonlító ábrát (8. ábra). A vertikális felbontás refrakciós módszer esetében nehezen megfogható, mert nem párhuzamos rétegeket próbálunk elkülöníteni, hanem az első beérkezés idejét mérjük. Ezért nézzük inkább a Fresnel-zóna méretét (az a terület a határfelületen, ahonnan a különböző utakon beérkező hullámok konstruktívan interferálnak, ezért ezek nem elkülöníthetők egymástól) [19]! Ha 30 Hz domináns frekvenciát feltételezünk, és a crosshole-adatokat használjuk a módszerhez „lebutítva”, a számítások során (7. ábra, a refraktor mélysége 10 m, laza réteg sebessége 500 m/s), a kritikus távolságnál, tehát ahol a direkt hullám a kritikus szöggel reflektálódik, a Fresnel-zóna kiterjedése függőleges irányban 4,2, vízszintesen 6,5 m-nek adódik.

Geoelektromos mérések

„A nagy felbontású 2D szárazföldi geoelektromos mérések célja a 2D és 3D szeizmikus méréseken azonosított, felszín közelébe hatoló tektonikus szerkezetek helyzetének pontosítása, továbbá a 3D vízi szeizmikus módszerrel a vízen kimutatott szerkezetek és paleomedrek szárazföldi folytatásának vizsgálata volt” [2], valamint „mérések célja, hogy megvizsgálja közrejátszik-e tektonikai eredetű ok (vető) az eltérő morfológia ... megjelenésében” [11].

Bodoky Tamás az egyik problémát már megfogalmazta [1]: „Az alapfeladat megoldására, vagyis a neotektonikus elmozdulások észlelésére ezek a mérések ugyanis alkalmatlanok. A negyedkori rétegeken belül egy elmozdulás



9. ábra. A keresendő vető magassága és a cellaméret összehasonlítása

mindkét oldalán ugyanazok az anyagok (ugyanazok a fajlagosellenállás-értékek) találhatóak, vagyis egy ellenállás-szelvényezés számára ezek az elmozdulások láthatatlanok”.

A szerző a geoelektromos méréseket is nagy felbontásúnak nevezi, de a mérési paraméterek ennek ellentmondanak. Az elektródaköz 4 m, ezzel a legkisebb AB távolság 12 m volt, azaz még ha lenne is valamilyen kis ellenállás-változás a vetőnél, mondjuk az eltérő nedvességtartalom miatt, a hosszú „áramutakkal” azt is elkenték. Loke szerint [20], aki a leggyakrabban használt elektromos feldolgozó programot írta, amelyikkel egyébként a jelentésben [2] szereplő geoelektromos szelvényeket is feldolgozták, a geoelektromos mérések felbontása a mélységgel exponenciálisan romlik. Ehhez igazodva a feldolgozó programban az alapértelmezett cellaméreteket fentről lefelé haladva vertikálisan 2, 2,2, 2,4, 2,68, 2,92 és 3,24 m, míg horizontálisan mindig 4 m. Tehát már felszínközeli is lényegesen nagyobb a cellaméret, mint a kutató elvetődés. A problémát a 9. ábra illusztrálja. A cellaméretet a programban ugyan lehet változtatni, de mivel azok a mérési geometriához és a módszer felbontóképességéhez illeszkednek – és ettől a művelettől több adat nem lesz –, a valódi felbontást nem változtatja meg, csak interpolál.

Magukkal a mérésekkel kapcsolatban további kérdéseket vet fel, hogy – mint a zárójelentésben fogalmazták – „a mért adatok pontosságának további növelése érdekében a műszer minden egyes mérési pontot négy alkalommal mért meg (négyes összeg), az így kapott négy érték egymáshoz képesti tűréshatára 10% volt”. Az említett tűréshatár például az AGI műszernél alapértelmezésben 2%, amennyiben az eltérés ezt meghaladja, újra mér, addig, amíg el nem éri a kívánt pontosságot, vagy a beállított maximális ismétlésszámot, valamint hangjelzéssel tudatja az észlelővel, hogy valami probléma van [21]. A legtöbb feldolgozó program is „eldobja” a küszöbértéknél nagyobb hibákkal terhelt adatokat. A DC2InvRes programnál például ez a határ alapértelmezés szerint 3% [22]. A 10%-os

hiba még a feldolgozott szelvényre is sok, a szerzők által használt Res2DInv program használati utasítása szerint, az inverzió után elvárt pontosság 1–5% [23].

A 10%-os tűréshatár beállítása természetesen nem jelenti azt, hogy minden adat ilyen pontatlan, de az, hogy ilyen magas értéket használtak (kellene használni?), felveti annak a gyanúját, hogy az adatok jelentős része nem volt megbízható. Ebben az esetben pedig a szelvények sem azok. Van egy angol rövidítés, hogy mit okoz, ha kétes megbízhatóságú adatokat dolgozunk fel: SISO (*shit in, shit out*).

Végül, de nem utolsósorban a feladat megoldása szempontjából kedvezőtlen a kiválasztott Wenner–Schlumberger-elektrodaelrendezés is [2]. Loke-tól idézve: „megállapítható, hogy ez az elektródarendszer jó a vertikális irányú változások leképezésében (pl. horizontális szerkezetek), de meglehetősen gyenge (a ‘relatively poor’ kifejezést használja) a horizontális változások érzékelésében” [20]. Tehát, ha a fent felsorolt problémáktól el is tekintünk, már maga az elektródarendszer is nyilvánvalóan alkalmatlan arra, amire használták.

Összefoglalás

A cikkben azt vizsgáltam, hogy a Paks-II. telephely távolabbi környezetében, ahol egyébként a mérési feltételek kedvezőbbek, mint a telephelyen belül, az atomerőmű engedélyezése szempontjából kulcsfontosságú, a kvarter rétegekben esetleg meglévő, a 0,5 m-es elvetési magasságú vetőket az elvégzett geofizikai vizsgálatok alapján, az egyes módszereknél alkalmazott paraméterekkel – legalábbis elvileg – ki lehetett-e mutatni. A 0,5 m-t az indokolta, hogy ez volt az egyetlen konkrét szám, amely a telephellyel kapcsolatos előírásokban megjelent [4]. A vizsgálatot elsősorban a számunkra hozzáférhető „A felszíni geofizikai kutatások értékelő jelentése” [2], másodsorban „Földtani kutatási program zárójelentése” [11] alapján végeztem. Mivel a valós körülményeket csak részlegesen lehetett a forrás-

munkákból megismerni, a vizsgálatot az elméletileg elérhető felbontóképességek vizsgálatára alapoztam. Gyakorlatból tudjuk, hogy az elméleti felbontás reális körülmények között nem érhető el, tehát ha ezt a feltételt teljesítik is a mérések, a valóságban csak ennél lényegesen nagyobb elvetési magasságú vetődés kimutatására alkalmasak. Meg kell jegyezni továbbá, hogy a telephely belsejéből semmilyen felvétel nem állt rendelkezésemre, ezért azt nem tudtam vizsgálni. Azonban az alkalmazott eszközök és paraméterek megegyeztek a kívül mértékekkel, viszont a laza feltöltés és az alatta lévő rétegsorban várható nagyobb sebesség kisebb felbontást tesz lehetővé, ráadásul a szeizmikus zaj is nagyobb, ezért nagy valószínűséggel a telephelyen belülre is érvényesek az itt leírtak.

A megállapítások röviden összefoglalva:

- Az MFGI által végzett S-hullám-reflexiós mérések során alkalmazott geofonköz nem tette lehetővé értelmezhető fedésszám elérését és ezzel a jel/zaj viszony érezhető javítását, valamint a kevés használható csatorna miatt nem lehetett megbízható sebességanalízist végezni a kvarter rétegekben.
- Ugyanezen mérések esetében az alkalmazott 20–80 Hz-ig terjedő sweep, a közölt 150–170 m/s sebesség esetében, az elvárt felbontáshoz képest túl nagy hullámhossz miatt nem volt alkalmas a keresett vetőméret kimutatására, bár ha elfogadjuk a hullámhossz negyedét felbontásnak, akkor – legalábbis vertikális irányban – közel volt hozzá. Jellemző, hogy a lényegesen nagyobb mélységekre kihelyezett (P-hullám) 3D szeizmikus mérések-nél is nagyobb volt a felső határfrekvencia, mint az S-hullám-mérések esetében.
- A Geomega Kft. által végzett S-hullám-mérés minden, a felbontás szempontjából lényeges paraméterében (geofonköz, frekvencia) elmaradt az MFGI által mértéktől, így a feladat megoldására még inkább alkalmatlan volt.
- A P-hullámos refrakciós mérés a módszer fizikai elve és a mérésnél használt paraméterei miatt eleve alkalmatlan volt a feladat megoldására, ráadásul a refraktált hullám „fennakadt” a nem túl nagy mélységű talajvíz felszínén ami, már csak a Duna közelsége miatt is, előre várható volt.
- A geoelektromos mérések az alkalmazott mérési paraméterek mellett, a maguk fizikai és felbontásbeli korlátaival, ezt súlyosbítva a nem erre a célra való elektrodaelrendezéssel eleve alkalmatlanok voltak a feladat megoldására.

Még rövidebben: a vizsgált geofizikai mérések részben rosszul megválasztott módszerekkel, alkalmatlan paraméterekkel készültek, így még elvileg sem érték el a feladat megoldásához elvárható felbontóképességet, ezért gyakorlatilag alkalmatlanok voltak a kvarterbeli kisebb függőleges irányú vetők kimutatására. A fent leírtak természetesen nem jelentik azt, hogy az S-hullám-reflexiós mérések az alkalmazott paraméterekkel nem lehetnek alkalmasak a nagyobb, több méteres, vetők kimutatására.

A cikk szerzője

Prónay Zsolt

Hivatkozások

- [1] Bodoky T. (2020): Egy kutatási jelentés margójára. Magyar Geofizika, 61/4, 203–213.
- [2] Tóth T. et al. (2015): Felszíni geofizikai kutatások értékelő jelentése. <https://drive.google.com/file/d/0B1ObjabIdVkmQXpJWWFadVFEQ28/view>
- [3] 118/2011. (VII. 11.) Kormányrendelet: a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről. Magyar Közlöny, 2011/78. <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1100118.kor>
- [4] Gosatomnadzor of Russia (Federal Nuclear and Radiation Safety Authority of Russia) (2002): NP-032-01, Federal Codes and Standards in the Area of Atomic Energy Applications, Nuclear Power Plant Siting, Main Criteria and Safety Requirements. Bulletin of Russian Gosatomnadzor, No. 1(20)
- [5] Yilmaz Ö. (2001): Seismic Data Analysis. Society of Exploration Geophysicists. ISBN 978-156080-094-1
- [6] Gombár L., Deák F. (2015): Szerkezetkutató 3D szeizmikus mérések a Paksi Atomerőmű környezetében. Magyar Geofizika, 55/1, 139–150.
- [7] Hunter J. A. et al. (1982): Optimum field techniques for bedrock reflection mapping with the multichannel engineering seismograph. In: Current research, Geol. Surv. Can., pp. 125–129.
- [8] Hunter J. A. et al. (1984): Shallow seismic reflection mapping of the overburden-bedrock interface with the engineering seismograph – some simple techniques. Geophysics, 49, 1381–1385.
- [9] Sengbush R. L. (1983): Seismic Exploration Methods. Springer Netherlands. ISBN 978-94-0116397-2
- [10] <http://geotomographie.de/assets/equipment/Productsheet-Elvis.pdf>
- [11] Konrád Gy. et al. (2016): Földtani kutatási program zárójelentése. MVM Paks II.
- [12] <http://www.indvehicles.com/minivibS6.html>
- [13] Ádám O. (1987): Szeizmikus kutatás I-II. Tankönyvkiadó
- [14] Meskó A. (1994): Rugalmas hullámok a földben – A szeizmikus kutatómódszer. Akadémiai Kiadó
- [15] Wallace D. E. (1970): Some limitations of seismic refraction methods in geohydrological surveys of deep alluvial basins. Groundwater, 8/6, 8–13.
- [16] ASTM D5777 – 18, Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation.
- [17] (2006): Paks üzemidő hosszabbítása 6. melléklet, Geológiai és hidrogeológiai képződmények. <https://docplayer.hu/105995789-6-melleklet-geologiai-es-hidrogeologiai-kepzoedmenyek.html>
- [18] Hagedoorn J. G. (1959): The plus-minus method of interpreting seismic refraction sections. Geophysical Prospecting, 7, 158–182

- [19] Sheriff R. E. (1980): Nomogram for Fresnel-zone calculation. *Geophysics*, 45/5, 986–972.
- [20] Loke M. H. (2002): Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. <http://personales.upv.es/jpadin/coursenotes.pdf>
- [21] (2009): The SuperSting with swift automatic resistivity and IP system – Instruction Manual, Advanced Geosciences Inc. Austin, Texas, USA
- [22] <http://www.resistivity.net/dc2dinvres/>
- [23] Loke M. H. (2020): RES2DINVx64 ver. 4.10 Manual. Geotomo Inc. Penang Malaysia

Agocs-ösztöndíj, 2021

A díjat alapító, dr. William B. Agocs professzor szándéka szerint az Eötvös Loránd Tudományegyetem geofizika szakán megvédett, kiemelkedő színvonalú MSc-, illetve PhD-dolgozatot lehet jutalmazni. Az Agocs-díj kuratóriuma, amely a korábbi díjazottakból áll, titkos szavazással három MSc-dolgozatot talált jutalmazásra érdemesnek 2021-ben.

A díjazott MSc-dolgozatok

Hegyti Betti: Geodynamical modeling of triangle zones. A dolgozat témavezetője: *dr. Erdős Zoltán PhD*.

Egey Bence Attila: Vetők hatásának numerikus vizsgálata porózus közegben zajló transzport folyamatokra. A dol-

gozat témavezetői *dr. Galsa Attila* egy. adjunktus és *Szijártó Márk PhD*.

Biró Nikolett: Statisztikus plazmaszféra-modell kifejlesztése gépi tanulással módszerrel. A dolgozat témavezetője *dr. Lichtenberger János* kutatóprofesszor.

Dr. Borhy László akadémikus, egyetemi tanár, az Eötvös Loránd Tudományegyetem rektora adta át az Agocs-ösztöndíjat ünnepélyes körülmények között a rektori tanácssteremben. Az ösztöndíj átadására 2021. szeptember 14-én került sor.

Kis Károly



Az ösztöndíj átadásakor készült fénykép (balról-jobbra) *Biró Nikolett*, *dr. Borhy László* akadémikus, egyetemi tanár, az Eötvös Loránd Tudományegyetem rektora, *Hegyti Betti* és *Egey Bence*

A Balkán Geofizikai Társulat (BGS) 11. Kongresszusa

A Balkán Geofizikai Társulat 2021. október 10–14. között rendezi meg 11. konferenciáját, ezúttal a járványhelyzet miatt virtuálisan, online ülésekkel és előadásokkal.

A konferencia honlapja: <https://bgscongress.org/>



About The Event

We are pleased to invite you to the **11th Congress of the Balkan Geophysical Society - BGS2021** hosted by the **Romanian Society of Applied Geophysics (SGAR)**. The Scientific Conference offers a wide range of topics and invites contributions in various research areas, with the clear intention of providing the geoscientific community with the opportunity to share scientific knowledge and expertise, as well as to discuss the newest trends in the field of applied or theoretical geophysics. We also welcome presentations on cloud computing technologies and machine-learn for oil and gas industry, in mining and geothermal production. We look forward to seeing you at the 11th Congress of the Balkan Geophysical Society -BGS2021

WHERE

ONLINE
Romania

WHEN

Sunday to Thursday
October 10 to 14, 2021

Király Ernő,

a Magyar Geofizikusok Egyesületének alapító tagja

1934 – 2021

2021. július 14-én, életének 87. évében meghalt Király Ernő. Utolsóként távozott azok közül a geofizikusok közül – Erkel András, Hobot József, Jósa Ernő, Király Ernő, Szabadváry László –, akik az '50-es években megalapozták a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézetben a geoelektromos kutatásokat. Ő volt közülük a legfiatalabb. Halálával – legalábbis ezen a kutatási területen – lezárult egy korszak, ezért érdemes élettörténete mellett visszatekinteni a múlt század második fele geofizikájára is. Annál is inkább, mert a mai olvasók valószínűleg ugyanúgy rácsodálkoznak néhány dologra, mint ahogy annak idején mi lepődtünk meg azon, hogy az Eötvös-inga szállítására készített kocsikat ökrökkel kellett vontatni az alföldi sártengerben.

Király Ernő Erdélyben, Tordán született. 1957-ben szerzett geofizikus diplomát az Eötvös Loránd Tudományegyetemen. Abban az évben 14-en végeztek, közülük hárman biztosan az ELGI-be kerültek.

1962-ben már Mongóliában dolgozott. Karas Gyula volt évfolyamtársával fúrású pontkitűző felszíni ellenállásméréseket végzett a víztermelő kutakat fúró brigádok számára.

Fizikai korlátaim – megromlott látás – miatt kénytelen vagyok elsősorban emlékeimre hagyatkozni, ezért a szokásosnál gyakrabban fogok szerepelni.

Én 1964-ben kezdtem dolgozni az ELGI-ben, a Geoelektromos Osztályon, a mélyszondázó csoportnál, amelyet Ernő vezetett.

Az akkori mérés technikáról és egyéb körülményekről csak néhány szóban emlékezem meg. Az áramforrás egy 4 kW teljesítményű egyenáramú generátor volt, a mV nagyságrendű jeleket természetesen analóg műszerrel, fotoregisztrálóval próbáltuk mérni. Ha túl erős volt a naptevékenység és a tellurikus csoport öröme erős volt a „mozgás”, a tellurikus változások, a rossz jel/zaj viszony miatt várni kellett, míg a „zaj”, talán késő délutánra egy kicsit csökkent. Ez történt első munkanapjaim egyikén is. Ernő tanította a terepi munka csínját-bínját, az elektródák elhelyezésétől a regisztrátum előhívásáig. Abony környékén folytak a mérések, amikor jött a várakozás a „zaj” csökkenésére. Ezalatt elsétáltunk a legközelebbi tanyához, és megkérdeztük, tudnának-e sütni rántottát néhány

tojásból. Tudtak. Arra már nem emlékszem, mennyit fizettünk érte, de azt tudom, hogy 1300 Ft volt a „kiküldetési díj”, ebből kellett állni az albérlet és az étkezés költségeit. Az akkori árak mellett ez sikerült is.

A következő évben megérkezett egy nagyobb teljesítményű, 12 kW-os generátor, és elkészült az Ernő által tervezett erősáramú kapcsolómű, amely már nem használt műföldet, hanem pólusváltást ($A^+B^- \rightarrow \text{műföld helyett } A^+B^- \rightarrow A^+B^-$) végzett. Ez a műszer aztán sok éven át, egy még nagyobb teljesítményű generátorral is dolgozott a mélyszondázásokban.

A számomra is elérhető internetes források Ernő mongóliai tevékenységéről részletesebben számolnak be, mint hazai kutatásairól. Két példa:

„A II. komplex kutatócsoport Király Ernő geofizikus irányításával a Dél-Góbi tartomány É-i felén, mintegy 2000 km²-nyi, vízszegény félsivatagi területen vé-

gezte az 1969. évi kutatásait.”

„Az I. sz. csoport vezetője 1970-ben is Nyitrai Tibor, a II. csoporté Király Ernő maradt.”

(Ezeket az információkat már régebben gyűjtöttem össze valamilyen célból, most nem sikerült újra megtalálni, ezért nem tudom megnevezni a forrást.)

Ismét egy már elfelejtett korjellemző. Soha nem beszéltünk róla, így nem tudom milyen mértékben játszott szerepet ennek a második mongóliai feladatnak az elvállalásában, hogy Ernő nagyon szeretett volna egy autót. Igaz, hogy a mongóliai kiküldetés után nem „keményvalutában” – megint egy ma már ismeretlen fogalom – járt a fizetés, de végül sikerült egy új Volkswagen bogarat venni. Egy a Merkurnál már befizetett Warburgot lehetett átíratni Volkswagenre egy akcióban.

Hogy mennyire fontos volt számára, az akkor derült ki, amikor egy terepi szezont záróvacsoza közben a kocsit a terepi iroda udvarán egy olyan helyre vittük kézben, nagyon óvatosan, ahová saját kerekén nem gurulhatott. Nagyon sokáig neheztelt ezért a nem éppen szellemes akcióért. Egész életében ez volt az egyetlen kocsija, és családtagként szerette.

Nem tartozott szakmai tevékenysége legfontosabb álmomái közé, számomra azért emlékezetes, mert 1973-ban együtt végeztünk geoelektromos méréseket Ausztriá-



Király Ernő
1934 – 2021

ban, a karintiai Bleibergben, az ottani bánya számára. Akkoriban nem volt túlságosan gyakori lehetőség ilyenmire, és a geofizikai tapasztalatok mellett a „kapitalizmus” is ismerkedtünk (elnézést a sok „...”-ért, de 50 évvel ezelőtt egyes szavak kicsit mást jelentettek).

Időpontot nem tudok megadni, de Ernő az újonnan szervezett Érckutató Osztály vezetője lett. Ő volt a Börzönyben végzett geofizikai kutatások témafelelőse. Ennek eredményeiről az ELGI történetének II. kötetében lehet olvasni. Az ő osztályához tartozott a műszerfejlesztő labor is. Ernő ennek munkájában is részt vett, egy ma már szintén nehezen érthető munkával.

A geoelektromos műszerek dobozaival szemben nincsenek különleges elvárások. Nem kell sújtólégbiztosaknak lenniük, nincs szükség túlnyomásra a dobozban, a doboz anyaga legyen ütésálló, víztaszító, és a doboz lehetőleg legyen könnyű, és természetesen az elektronika által meghatározott méretű. A megfelelő anyag kiválasztása, a dobozok megtervezése és kivitelezésének megszervezése hárult Ernőre. Sokáig őrzött egy jókora (alumínium)öntvényt, az egyik doboztípus sablonját.

Geofizikai tevékenységében aztán újabb váltásra kényszerült. A mélyszerkezet-kutatás után az érckutató iránti igény is csökkent, és persze az intézet tevékenysége is nagyot változott. Azt nem tudom, hogyan kezdett megismerkedni a geoelektromos rétegvizsgálással, azaz a fúrások közti átvilágítás módszerével. Ezt olyan orosz szénmezőkön dolgozták ki, ahol az egyes széntelepek nagy kiterjedésűek, és viszonylag sűrű a fúrás-hálózat. Egy fúrásban elhelyezett elektródarendszerrel és egy másik fúrólukban elvégzett lyukszelvényezéssel meg lehet hatá-

rozni, hogy a telep a két lyuk között folytonos, vagy például egy vető megszakítja. Az már nem a módszer, és főleg nem Ernő hibája, hogy nem sokkal az első kísérleti mérések után már megkezdődött a szénbányászat gyakorlatilag teljes megszűnése, ezzel együtt természetesen a további kísérletek lehetősége is.

Talán utolsó alkalommal került sor egy kollégákkal közös programra, amikor a korábban említett bleibergeri mérések 20. évfordulóján a négy résztvevő – Király Ernő, Nemesi László, Zsille Antal és én, a négy feleséggel együtt – néhány napot töltött ott újra, ugyanabban a panzióban laktunk, ha nem is ugyanazokban a szobákban.

Kár, hogy nem tudom egy kézzel írt szövegét megmutatni. Ugyanis nagyon egyéni módon írt: két kézzel. Az íróeszközt jobb kezébe fogta, azzal formálta a betűket, és bal kezével valahogy tolt a jobb kezét. Ez a különleges írásmód magán az íráson nem látszik.

Nyugdíjas éveiben nyaranta Leányfalun, kis nyaralójában élt, és volt egy nagyon komoly hobbija, talán több is annál. Elkezdett hegedűket készíteni. Nem teljesen meglepő ez, hiszen testvérét, az iparművész, belsőépítész Király Józsefet, a fa mesterének nevezték. Ernő régi bútorokat keresett és vett, hogy megfelelően öreg faanyaghoz jusson. Saját elmondása szerint kilenc hegedűt készített, a tizediket már nem tudta befejezni.

Sok éven át csak telefonon beszéltünk. Mivel születésnapjaink két egymást követő napon voltak, ilyenkor kölcsönösen gratuláltunk egymásnak. Utoljára mégsem születésnapon, hanem idén, névnapomon beszéltünk. Novemberben már nem fogjuk egymást telefonon hívni. Nyugodjék békében!

Verő László

Sajti László,

a Magyar Geofizikusok Egyesületének alapító tagja

1926 – 2020

Tisztelt Kollégák!

A „Tisztelet az éveknek” rovat összeállítása során értesültünk családjának tagjaitól, hogy Sajti László, a Magyar Geofizikusok Egyesületének alapító tagja, az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet egykori munkatársa, a Tihanyi

Földmágneses Observatórium korábbi vezetője a múlt év végén 94 éves korában elhunyt.

Emlékét megőrizzük!

Szerkesztőség

Sajti László 1926-ban, Magyaritbén, az akkor már Jugoszláviához tartozó Vajdaságban született. 15 éves korában, kalandos úton – a Tiszát átúszva – Magyarországra szökött, ahol felvették a Hadapród Iskolába. Sajnos rövidesen az egész iskolát Németországba vitték, és a diákokat a frontra akarták küldeni, ám hogy ezt elkerülje, tanárjai segítségével megszökött.

A háború után Budapesten fejezte be a gimnáziumot, majd egyetemre került, és 1952-ben fizikus diplomája megszerzése után az Eötvös Loránd Geofizikai Intézetben kapott állást. Először a Geoelektromos Osztályon dolgozott a Pátka környéki érckutatásokban, majd gipszkutatásban Perkután.

Amikor az Intézetben 1954-ben megkezdődtek a mélyfúrás-geofizikai kutatások, akkor ennek az új kutatási módszerrel dolgozó kutatócsoportnak a vezetőjévé nevezték ki. Csoportja elsősorban terepen tevékenykedett. Munkája elismeréseként 1957-ben a Földtani Főigazgatóságtól a „Földtani kutatás kiváló dolgozója” kitüntetést kapta.

1960-ban a Tihanyi Földmágneses Observatórium vezetésével bízták meg, ebben a munkakörben nyolc évet töltött el.

1968-tól 1972-ig több szakaszban Mongóliában a Mongol–Magyar Földtani Térképező Expedícióban dolgozott, melynek során geoelektromos és földmágneses méréseket végzett.

Hazatérte után, 1984-ben történt nyugdíjba vonulásáig neutronaktivációs analízissel, valamint röntgenfluoreszcens mérésekkel történő közetelemzéssel foglalkozott.

Sajti László türelmes, nyitott, segítőkész ember volt, aki mindig igyekezett pozitívan állni a dolgokhoz, fia szerint éppen ez segítette ahhoz, hogy ilyen magas kort érhetett meg.

Kedves Sajti kolléga, nyugodjál békében!



Sajti László
1926 – 2020

Ezt a megemlékezést Sajti László önéletrajzának és fiának, Sajti Zoltánnak a segítségével állította össze a Szerkesztőség

Sédy Judit

1933 – 2021

2021. július 23-án újabb ős-ELGI-tag hagyott itt bennünket, a mindenki által szeretett és tisztelt Sédy Jutka személyében. Jutka, születési nevén Kovács Judit, majdnem pontosan 88 éve, 1933. szeptember 5-én született Kunmadarason egy 380 holdas nagygazda család második gyermekeként. Édesapja képzett mezőgazdász volt, fejlett tehenészetet működtetett a tanyán, kísérleti rizsföldeket hozott létre. Iskolát létesített a tanyán dolgozók gyerekeinek, hogy ne kelljen messzire menniük iskolába. Jutka 10 éves koráig ott a tanyán élt, ahol a csatornában megtanulhatott úszni, és a rengeteg kisállat között boldogan tölthette gyermekkorát. 1943 szeptemberében nővérét követve a budapesti Veres Pálné Gimnáziumban kezdte meg a középiskolát. Először kollégiumban laktak, majd egy közeli lakást bérelt nekik édesapjuk, amikor a kollégiumból kitétték őket. A bombázásokat nagynénjüknél, a Mészáros utcában élték át.



Sédy Judit
1933 – 2021

A történelem bakugrásai kibillentették a Kovács családot is életük megszabott rendjéből: édesapjuk 1949-ben, nagy bölcsességről tanúskodva, házukat és földjeiket felajánlotta a termelészövetkezetnek – így elkerülve, hogy kitelepiítsék a családot a Hortobágyra –, és egy ideig traktorosként dolgozhatott, de Budapestre költözésük után már csak éjjeliőri munkát kapott. Lakásuk a Magyar utcában később kisebb geofizikai bázissá vált, mint intézeti bérlemény. A hivatalosan megszabott alacsony bérleti díj kompenzálására Jutka édesanyjával takarítónői szerződést kötött az Intézet. Így lettek köztisztviselőként álló kunmadarasi polgárokból a megélhetésért küszködő páriák, és szóba se kerülhetett, hogy időközben leérettségizett leányaik tovább tanuljanak.

És ismét a történelem bakugrása formálta Jutka további életét: a fordulat éve után elhatározta, hogy „a vas és acél országa leszünk!” Ehhez viszont nyersanyagok kellenének – nosza fejlesszük fel a nyersanyagkutatást. Ez indította be az ELGI gyors ütemű fejlesztésének igényét, tehát valahonnan szakembereket kellett keríteni. Mivel a Soproni Egyetemen és az ELTE-n beindított geofizikus-képzés csak 1953-ban, ill. 1955-ben bocsátott ki új szakembereket, az induláshoz elengedhetetlen észlelői, kitzűzői, adatfeldolgozási feladatok ellátására kiképzendő „középkáderek” előteremtése érdekében az ELGI középkáderek tanfolyamot indított 1951 őszén érettségizett fiatalok részére. Ez a tanfolyam, és az utána következő terepi munka gyűjtőhelye lett a politikai okokból kisiklott egzisztenciáknak, itt találkozhattak az éppen érettségizett, de továbbtanulásról

nem álmodható fiatalok az orosz nyelv kizárólagos oktatásának bevezetésével állás nélkül maradt nyelvtanárokkal, „horthysta” katonatisztekkel, vagy a közhivatalokól éppen kiakolbólintott jogászokkal – szóval az akkori szóhasználatlallal élve –, deklasszált elemekkel. Magyarán szólva, jó társaság gyűlt össze, barátságok, szerelmek is szövődtek. Jutka is erre az első középkádereképző tanfolyamra jelentkezett, melynek sikeres elvégzése után mehetett ki terepre dolgozni. A terepi élet nehézségeit ellensúlyozta a viszonylag előnyös fizetés, hiszen az alapfizetés mellett a tereppótlék egy második fizetést jelentett. Hamar kiderült, hogy Jutka vonzódik a műszerekhez, egy szeizmikus csoporthoz kerülve kitűzött, szintezett, az irodai munkát kevésbé kedvelte. Első terepi szezonján ismerkedett meg későbbi férjével, Sédy Loránddal, aki rendőrtisztként a Rajk-per kapcsán veszítette el állását, de harctéri múltjával felvették lőmesternek az

ELGI-be, és 1951-ben már mint igen sikeres csoportvezető működött. Jutka különleges szépsége első pillantásra lenyűgözte Lórit, és további életük menetét már egyértelműen az intézeti események határozták meg.

1956-ban, a szerveződő Kínai–Magyar Geofizikai Expedíció sürgetésére házasodtak össze: Lóri lett az egyik szeizmikus csoport vezetője, Jutka pedig a kiértékelésben kapott munkát. 1956 júliusától 1959 szeptemberéig voltak kint Kínában, és ez az időszak meghatározóan alakította Jutka érdeklődési körét. A kínai élményekről egész életében örömmel mesélt, és később is nagy érdeklődéssel fordult a keleti művészetekkel foglalkozó könyvek felé.

Engedtessek meg, hogy személyes élményeim is fellelevenítsem!* *Én 1957 februárjában kerültem ki Kínába (feleségként), de hamarosan munkát kaptam a Sédy-féle csoport kiértékelésén, így kerültem Jutkával szoros munkai és baráti kapcsolatba. Az 1957-es mérési szezonban a terepi központban dolgozott a kiértékelő részleg, de az 1958-as szezonban a központ és a mérési terület közötti távolság és a rossz közlekedési viszonyok miatt már a kiértékelésnek is ki kellett mennie a terepi csoporthoz. Egy terepi csoport még hazai körülmények között is nagyon szoros közösséget alkot. De egy kínai faluban, ahol munkatársain kívül senki mással nem tud az ember szót érteni, ahol nincs újság vagy rádió, ott teljes a bezártság. Ott nem mértük a munkaidőt, reggeltől*

* Kilényi Éva

estig csak dolgoztunk, és az étkezések közben való beszélgetés jelentette az egyedüli kikapcsolódást. Ha néha-néha eső miatt nem lehetett mérni, akkor Lóri szórakoztatott minket háborús élményeivel. Volt olyan terepi szálláshelyünk, ahol még a kínai egészségügyi is kivonult a mérőcsoporthoz, kettesben maradtunk Jutkával egy iskola magas vályogfallal körülvett „kampuszán”, de nem emlékszem, hogy ez az összezártság kiváltott volna akár egyszer is valami feszültséget közöttünk. Közös élményeinket azóta is minden találkozássunkkor vagy telefonbeszélgetésünkben felelevenítettük.

Kinából hazatérve megszületett a Sédy házaspár első gyermeke, Eszter. Majd négy év múlva Tamás fiúk is. Jutka munkája mellett elvégezte a geológiai technikumot és jóval később az Intézetben szervezett felsőfokú geofizikus technikus tanfolyamot is.

Jutka szakmai munkája a 60-as évektől kezdődően a szeizmikus terepi eszközök karbantartásához kapcsolódott. Munkakörét elsősorban a terítéskábelek és geofonok készenléten tartása és javítása képezte. Kezdetben a karbantartó csoport tagjaként, majd vezetőjeként látta el ezt a feladatkört. A szeizmikus felvételi anyag minősége és a kutatások folyamatossága szempontjából alapvető fontosságú volt a kábelek és geofonok rendelkezésre állása és állapota. Jutka ezt a munkát is a tőle megszokott lelkiismeretességgel és odaadással végezte. A téli felkészülések során és a terepi időszak ideje alatt is adódtak kritikus helyzetek, amelyek megoldásához a karbantartó csoport megfeszített munkájára volt szükség. A kábelek mozgatása, tisztítása és javítása, a geofonok nagy tömegének átvizsgálása és szükség szerinti kijavítása jól szervezett, nagy odafigyelést és precizitást igénylő munka volt. Ezen túlmenően gondoskodni kellett az eszközök megfelelő minőségét szavatoló beszerzési forrásokról is. A Magyar Kábel Művekkel, külkereskedelmi vállalatokkal és a brnói Geophysica Intézettel létesített kapcsolatok kiépítésében és fenntartásában Jutka szerepe meghatározó volt. Ennek köszönhető, hogy a 60-as, 70-es években korszerűnek mondható magyar és holland gyártmányú kábelekkel, továbbá lengyel, Geospace és Sensor geofonokkal láthattuk el terepi csoportjainkat. A brnói intézettel létesített együttműködés egészen a 80-as évek közepéig gondoskodott korszerű geofontípusok beszerzéséről, utánpótlásáról és még az elhasználódott geofoncsoportok felújításáról is.

Következzen egy személyes megemlékezés Jutka munkáját illetően, ezúttal Bodoky Tamásé! *Mi munkatársak mindig számíthattunk rá. Az én első, Jutkával közös ügyem is pont egy ilyen eset volt. Amikor átadtam az addig általam vezetett terepi csoportot az utódomnak, a leltározásnál kibukott jó néhány olyan hiány, amely valószínűleg már akkor is fennállt, amikor én vettem át a csoportot, csak akkor nem*

leltároztunk. Még meglehetősen zöldfülű voltam, és fogalmam sem volt, hogy ezeket az általam sohasem látott kábel-dobokat és egyéb eszközöket honnan szerezzem be. Valahogy Jutka tudomására jutott a dolog, és egy-kettőre összeszedte nekem innen-onnan a hiányzó leltári tételeket, és így az ő segítségével jutottam túl az intézeti leltárral történt első összeütközésem.

Ha visszagondolok Jutkára, mindig látom a füstölgő pákát a kezében és a gőzölgő kávé csészét, mert nem lehetett úgy meglátogatni az általa vezetett szeizmikus kábel- és geofonkarbantartó műhelyt, hogy ne kínált volna meg rögtön egy friss kávéval. A kábelek és geofonok karbantartása a kezdetekben nem volt túl bonyolult feladat, ám ahogy az évek folyamán a műszerek csatornaszáma és ezzel a kábelekben futó erek száma nőni kezdett, és megjelentek a geofoncsoportok, ez a munka egyre nehezebb – bátran állíthatom –, rettenetesen nehézé vált. Amikor a terepiek réme, egy tárcsa átment egy nagyon sokcsatornás kábelre és két araszonként más-más szálakat vágott át, annak a javítása a rejtvényfejtés és a türelemjáték olyan megerőltető keveréke volt, amire csak kevesen voltak képesek, de Jutka ilyen volt. Űlt a kábelhalmok között, és nem emlékszem rá, hogy kábel- vagy geofonhiány miatt egyszer is le kellett volna állnunk a terepen. Szakértelme, türelme és lelkiismeretessége biztos hátteret jelentett nemcsak itthon, hanem az Intézet olyan jelentős külföldi munkáinál is, mint a sokéves görögországi vagy az ausztriai mérések.

1988-ban megszületett első unokája, akihez nagy szeretettel kötődött, s mivel hamarosan nyugdíjba is ment, az unoka látogatása, sétáltatása, segítése életének mindennapos részévé vált. Majd megérkezett a második, a harmadik, a negyedik és az ötödik lány is, sőt végül néhány év múlva az unokák száma még egy hatodik kislánnyal is kiegészült, sok örömet, de feladatot is jelentve számára. Családi elfoglaltságai mellett számítógépes tanfolyamot végzett a kerületi Senior Klubban, majd angolról lefordított egy kínai szakácskönyvet. Rengeteget olvasott, amit azelőtt nem tehetett, most pótolta. Nagyon sokoldalú volt. Minden érdekelte, a hímzés, a kötés, a selyemfestés, a barakácsolás.

1979-ben megvettek egy telket Kisorosziban, ahol szinte minden hétvégét kertészkedéssel töltötte. Nagyon szerette a kertjét, boldogan ültetett mindenféle növényt, a termést befőzte és szétosztotta a gyerekek között. Ott, kisoroszi kertje közepén érte az utolsó pillanat is. Miközben boldog meglepődéssel szemlélte a kertet, amelyet rendbe tett, csendben, békével távozott az Öröklétbe. Sédy Jutka hiányozni fog ebből a világból, de segítőkészségének, szeretetének emléke példaképpen marad itt közöttünk.

Bodoky Tamás, Kilényi Éva, Kovács Béla

Séfel József

1934 – 2021

Séfel József talán nem örvend olyan ismertségnek, mint akik itthon töltötték egész életüket, de bátran mondhatom, világszerte nagyon is ismert geofizikus volt. Rendkívüli személyiség, a 20. századi magyar történelem fordulatait nemcsak aktív szereplőként megélt ember, hanem a történelem által formált és átformált személyiség.

Egy kis Tolna megyei faluban, Magyar-keszin született. Soha nem mesélt gyermekkoráról, utolsó találkozásunkkor említette, hogy „parasztgyerek voltam”. A helyi iskola 8 elemi osztályának elvégzése után szülei földbirtokán dolgozott mindaddig, míg tudomására nem jutott a munkás- és szegényparaszt fiatalok számára a továbbtanulás lehetőségét megnyitó szakérettségi tanfolyam. 1951-ben nyert felvételt az egy éves szombathelyi bentlakásos, a Nagy Lajos Gimnázium bevonásával szervezett kurzusra, amely azt a célt tűzte ki maga elé, hogy egy év alatt beprésseli mindazt a tudományt a résztvevők fejébe, amit a közönséges diákok négy év alatt szednek fel. A nyilván lehetetlen feladatot annyiban csökkentették, hogy a szakirányú tárgyak mellett a magyar irodalom és történelem csak igen vázlatosan került be a tantervbe, idegen nyelvet, az akkor már az általános iskola felső tagozatán is kötelező orosz se tanultak. Az 1952 szeptemberében az ELTE geofizikus szakára – többségében más szakra jelentkezettek átirányításával – összeverődött, összesen 16 fős társaságban heten jöttek szakérettségi tanfolyamról, és kilencen voltunk, akik szabályosan végig jártuk a gimnáziumot. Ráadásul a szakérettségisek majdnem mind kollégisták voltak, tehát otthonaikból kiszakadt, a nagyvárosban gyökértelen fiatalok. Az induló hétből mindössze hárman tudtak velünk együtt diplomát szerezni 1956-ban, volt, aki végleg kiszakadt, volt, aki 1-2 év késéssel, de megszerezte a diplomát. Hihetetlen teljesítmény volt ez részükről!

A szegénységben ugyan egyaránt osztoztunk, mégis a kettéosztottság végig kísért a négy egyetemi évünket: ők tartoztak az „uralkodó osztályhoz”, mi többiek, néhány kivétellel a megvetett polgársághoz. A fiúk között inkább kialakult a barátság, főleg a nyári katonai táborokban. De volt „gazdasági kapocs” is: Séfel Jóskában korán megnyilatkozott a vállalkozói képesség, ő szerezte „fővállalkozóként” a munkát, pl. éjszakai szénlapátolást, hogy a „polgári” származású fiúk kiegészíthessék szűkös ösztöndíjaikat.

1956. szeptember 21-én államvizsgáztunk, és másnap mindenki belépett a számára kijelölt munkahelyre. Séfel

Jóska az OKGT Geofizikai Kutatási üzemébe került, ahol mindjárt megkapta feladatát egy dunántúli terepi csoport kiértékelő részlegében. Egy hónappal később kitört a forradalom, majd a lázas két hét után a szovjet támadás. Most

utólag sajnálom, hogy soha nem kérdeztem meg tőle, mi vette rá, hogy elhagyja Magyarországot, minden idegen nyelv ismerete, minden rokoni-baráti kapcsolat nélkül nekivágjon az ismeretlennek. Mi feltételeztük minden szakérettségről, hogy a rendszer elkötelezett híve, hiszen az nyitotta meg számukra a felemelkedés útját. A logika azt diktálta, hogy a családi háttérben kell keresnem az okokat, és valóban kiderült, hogy apja nem tartozott a bizonyos „szegényparaszt” kategóriába, hanem az a bizonyos feltörekvő gazda volt, aki saját fiait is korán munkára fogva igyekezett birtokát növelni. Míg Jóska a szakérettségis kollégiumban tanult, apját – miután ellenállt az erőszakos téveszesítésnek – veréssel



Séfel József
1934 – 2021

és kulákká minősítés fenyegetésével kényszerítették a belépésre. Rejtély, hogy ezek után hogyan kerülhetett mégis egyetemre. Talán a helyi hatalmasságok elől sikerült eltitkolni egyetemi felvételét?! Távollétét egyszerűen betudták, hogy ő is egyike a sok elvándorló, a városban munkát vállaló fiatalnak? De Jóska részéről sem volt rizikómentes vállalkozás. Elsőévesek voltunk, mikor váratlanul berendelték az ásványtani nagyelőadóba, amelyet zsúfolásig megtöltött az összeverődött fiatalság. Kiderült, hogy vésztörvényszék hallgatóságát képezzük, a vádlott Bódog Sándor, egy kedves, kerekkepű parasztgyerek, aki eltitkolta, hogy az apja kulák!!! A verdikt nem is lehetett más, mint az ország összes felsőoktatási intézményéből való kizárás. Nehéz visszaadni ennek „tárgyalásnak” a borzalmas hangulatát, a hallgatóságból is felé irányuló dühödt vádak. És Séfel Jóska ott ült közöttünk, rezzenéstelen arccal, nyomát se mutatva, hogy hogyan érinti őt ez az ügy!

Lehet, hogy más szempont is közrejátszott abban, hogy Jóska 1956. november 20-án elhagyta az országot. De nem egyedül ment, hanem menyasszonyával, Évával és az ő édesapjával. Bécsben házasodtak össze december 20-án. Lehetséges, hogy Éva részéről is megvolt a készlet. Ahogy gyerekkoráról, úgy arról se mesélt soha, hogyan került ki Angliába. Az útról, az ő leírása helyett bátyám leírását illeszttem ide, hiszen lehetséges, hogy ugyanannak a vonatrakomány magyar menekültnek alkották részét.

„Az utolsó, Bécsben töltött napjaim nem mondhatók kellemesnek. Nap mint nap közölték velem, hogy a követ-

kező csoport holnap indul Angliába, és ez ment egész héten. Mikor december 22-én 12.30-kor bementem a követségre azt várva, hogy ismét csak hitegetnek, azt közölték, hogy készüljek, 2.30-kor indulás! Semmim se volt összecsomagolva, és mindössze két órám volt, hogy mindenkivel búcsút vegyek. Végül aztán 4 óra lett, mire a vonat elindult. Este 10-re értünk Passaubá, a nyugat-német határra. Következő reggel 8 órakor érkezünk meg Kölnbe, majd Aachenen keresztül Belgium következett. Végül 23-án délután 3 órakor érkezünk meg Ostendébe, a 24-órás utazástól meglehetősen elnyűtten, és azonnal megkezdjük a beszállást a kb. 3500 tonnás kompbá. A tenger tükörsima volt a napsütéses, enyhe ég alatt! Folkstone-ba, kb. este 7 óra körül érkezett meg a komp, vad nyugati szél által keltett, hatalmas hullámokon bukácsolva, sok tengeribeteg magyarral a fedélzetén. Beszállás a vonatba, amely hosszas várakozás után végre elindult. A következő (tehát december 24-én) hajnali 3 órára érkezünk meg végre célunkhoz, egy ex-RAF táborba, Birmingham közelében.”

A továbbiakban már nagyon különbözött az életük: bányátűrhető angol nyelvtudással egy egyetemi ösztöndíj várta, Jóska-t viszont a menekültek általános sorsa, a pénzkeresés kényszere a menekültek előtt nyitva álló szűkös lehetőségek közepette. Egy londoni áruházban takarított, ott találkozott össze az egy évvel előttünk végzett Balatoni Tónival, aki hozzásegítette, hogy sikerrel megpályázzon egy, a GSI kanadai óriás geofizikai vállalat által meghirdetett állást. Így kezdődhetett meg Jóska életének második, oly változatos és sikeres szakasza.

Kanadai pályafutásáról már nagyon rövidre szabott önéletrajzából számolhatok be. 1957. május 20-án érkezett meg Calgaryba, és rögtön elkezdett dolgozni a GSI egyik terepi csoportjának kiértékelő részlegében. 1966-ban helyezték át a központi feldolgozásba, ahol már az új technikával, a digitális feldolgozással ismerkedett.

1968-ban látogatott haza először, én sajnos nem találkozhattam vele, mert éppen előző év decemberében mentem családommal együtt másfél évre Nigériába. 1969-es szabadságunk alatt találkoztam volt évfolyamtársaimmal, akik elbeszélték milyen nagyvonalúan vendégelte meg őket Jóska. Következő összejövetelünkön már én is részt vehettem. Egy-egy ilyen összejövetelünk szakmai továbbképzésnek is megfelelt, annyi érdekességet, újdonságot mesélt főleg a szeizmikus adatfeldolgozás terén, de még műszeres kérdésekben is. Azután hamarosan kiderült, hogy már nem a GSI alkalmazottja, hanem önálló szeizmikus feldolgozó központot indított. Egyszer, jóval később kérdeztem rá, miért választotta ezt az utat? Elmondta, hogy már ő volt a rangidős, akit a következő alkalommal részlegvezetőnek kineveznek. Az alkalom jött: egy USA-beli részleg vezetői állása üresedett meg, de nem őt, hanem egy kanadai születésű, nála fiatalabb és kisebb tapasztalattal rendelkező munkatársát nevezték ki. Mikor rákérdezett mellőzésének okára, azt a választ kapta, hogy az ő angolágával nem kaphat részlegvezetői beosztást. Ezt annyira sérelmesnek találta, hogy otthagya állását, és a Century Geophysical Inc. központi feldolgozó részlegében helyez-

kedett el. De, mint saját szavaival írta, „ott sem találta a helyét”, így 1970-ben otthagya a nyugodt, biztos megélhetést biztosító állását, és önálló konzulensi irodát nyitva merészen belevágott az önálló vállalkozás nem éppen kockázatmentes világába. Az első, még analóg alapú feldolgozó központja hamarosan csődbe is jutott a digitális technika hihetetlen gyors egyeduralomra jutásával. Legközelebbi látogatására már egy digitális feldolgozó központ tulajdonosaként érkezett, igaz nagyon soványan, egy gyomorfekélyműtét után, de optimistán és magabiztosan. Kérdésemre, hogy miért dolgoztatják fel náluk az olajcégek a szeizmikus anyagukat, mikor van saját feldolgozóközpontjuk is, kihúzta magát és azt mondta: mert mi jobbak vagyunk! Ettől kezdve merészen ívelt felfelé a pályája: az egyszemélyes konzulensi irodából 10 év alatt egy 1150 alkalmazottal rendelkező cégcsoport lett, irodával szerte a világon (Calgary, Houston, Denver, London, Oslo, Sidney). 1973-tól már saját mérőcsoportokat is szervezett, a csúcson Kanadában 16, USA-ban 12 szárazföldi szeizmikus csoportot és két tengerhajót üzemeltetett. 1977-ben alkalmam volt megismerni londoni, a tengeri szeizmikus mérési adattömeg feldolgozására kifejlesztett óriás számítóközpontját. Akkoriban fő tevékenysége már nem a bérfeldolgozás volt, hanem koncessziót vásárolva általa ígertesnek tartott területeken – főleg kontinentális talajzaton – 3D hálózatot mértek saját hajóval, és a feldolgozott anyagból készített tanulmányokat árusította a nagy olajkutató cégeknek.

1979-ben, sikereinek csúcsán saját repülőgéppel érkezett Budapestre, a Hyatt hotelben szállt meg, két pilótája úgyszintén, és minket is ott vendégtelt meg. A szálloda személyzete úgy ugrálta körül, mint egy igazi „amerikai milliost”, az étteremben a cigányzenekar neki húzta a nótát. Mi, csóró helybeliek, szintén élvezhettük a különleges figyelmet: nem kellett hosszan várakozni a rendelésünkre, oda-odajöttek a pincérek, hogy minden óhajunkat ellessék. Mikor úgy éjfél felé felbomlott a társaság, úgy gondoltam, fogok egy taxit. Ekkor a taxisofőrök – várakozva a szállóvendégek éjszakai kiruccanására – helyretettek: nem voltak hajlandók engem a taxaméter által mutatott összegért hazavinni és emiatt elszalasztani egy jól megvágható külföldit. Ezen az összejövetelünkön említette először, hogy szponzorálni szeretne magyar egyetemistákat úgy, hogy a számítóközpontjában dolgozhatnak egész nyáron; segítsek kapcsolatot találni az egyetemekkel. Nem tudom, mit szólnak volna hozzá az illetékesek, mert azonnali reakcióként felajánlottam műegyetemi hallgató lányomat. Bár eleinte kissé húzódozott, nyilván fiúra gondolt, de végül 1980 nyarán a lányom derekasan megállta helyét mint operátor. Jóska nem győzte a munkáját dicsérni, és igazán nagyvonalúan bánt vele, nagy utazásokat is lehetővé téve számára. Akkoriban már a kultúra világa érdekelte igazán, Kanadában élő vagy tevékenykedő magyar művészeket szponzorált.

Az inerneten kutatva olyan táblázatra bukkantam, ahol ugyanazon igazgató neve alatt bejegyzett kanadai cégek szerepelnek, a cégbejegyzés dátumával. Ezek szerint 1979-

ben alapította a Sefel Pictures és a Sefel Records nevű cégét. A témához kapcsolódó két érdekes, az interneten található részlet: az elsőben Ternovszky Béla, animációs filmrendező meséli el Macskafogó c. sikeres filmjének történetét:

„Abban az időben kezdtek bejönni az országba a James Bond-filmek, a Csillagok háborúja, amelyeket azt megelőzően legfeljebb egy-egy külföldi fesztivál kapcsán, nyugati mozikban volt az embernek szerencséje látni, vagy kazettán megvenni és hazahozni. Esetleg még a Gorkij fasorban tartott filmklubban, zárt körű vetítéseken, beolvasott magyar nyersfordítással láthattunk ilyen jellegű filmeket. Szóval így született az ötlet, annak a teljes reménytelenségében, hogy ebből valaha is film készüljön, többek közt azért, mert a finanszírozás nem fedezte volna. Mi azért felterjesztettük az éves filmtervek között, amit a beérkezett pályázatokat elbíráló és a pénzt szétosztó Filmfőigazgatóság azzal az indokkal utasított el, hogy sem művészi értékében, sem társadalmi mondanivalójában nem támogatandó.

Ilyenkor kell egy szerencsés véletlen: egy Joseph Sefel nevű magyar disszidens, aki Kanadában olajból gazdagodott meg, úgy gondolta, frissen szerzett pénzéből elhagyott hazájának kultúrájára kíván áldozni mecénásként – természetesen a mielőbbi megtérülés reményében. Olyan területet, témát keresett, amely nemzetközi piacon is értékesíthető. Három tippet kapott a minisztériumtól: az egyik az akkor felszállóágban lévő modern Pécsi Balett volt, a másik a komolyzene, ahol a lemezkiadásban elég szép eredményeket értek el, a harmadik pedig az animáció, amely arra az időszakra úgy megerősödött, hogy a Pannónia Filmstúdiót a világ öt legnagyobb stúdiója között tartották számon. Pécs messze volt, szóval az kiesett. A hanglemezgyártók keresték, és pár szimfonikus lemezt ki is adott. Majd, amikor bement a Pannóniába, az igazgató, Matolcsy [György] épp szabadságon volt, az úgynevezett rendelt műterem vezetője, Kunz Román – az akkori főnököm, akivel a Pumuklit csináltuk – fogadta a betévedt üzletembert. Rögtön a kezébe nyomta a Macskafogó forgatókönyvét. Sefel szépen elvitte; másnap visszajött szerződést kötni.”

A filmet 1986 októberében mutatták be Magyarországon, de hogy a Sefel-féle szerződéskötés mikor történt, nem sikerült felderíteni, valószínűleg 1984-ben.

A másik, interneten található szöveg a The Timesban megjelent cikk, sajnos az évszámot nem közli, de egy, a digitális archívumban rögzített, 1996 előtti lapszámból való.

„Joseph Sefel magyar születésű geofizikus, aki sok évvel ezelőtt emigrált Kanadába és Calgaryban megalapította a Sefel Group Ltd.-et, egy kőolajjal foglalkozó céget. Tevékenységi területük: olajtermelő vállalatoknak adnak tanácsot, hol található olaj és remélhetőleg mennyi termelhető a mezőből. Kérdezhetnék, mi köze van ennek a lemezkiadáshoz? Nos, Sefel úr érdeklődése túlterjed a kőolaj nyers formáján, valamelyik feldolgozott terméke, mégpedig a 12 inch átmérőjű, LP néven ismert polivinilklorid lemezek iránt is megnyilvánul.

...A lemezbolond és régóta zenei mecénásként tevékenykedő Sefel úr négy évvel ezelőtt elhatározta, hogy elindítja saját márkáját, a Sefel Records céggel. Szándéka kétirányú volt. Egyrészt a más lemezkiadók által háttérbe szorítottak vélt magyar művészeknek akart felvételi lehetőséget biztosítani, másrészt lemezeik minőségét akarta tökélyre vinni. E célból minden lemezét már a kezdetekkor digitálisan rögzítette, és a nyers lemezeket a német Teldec cégtől szerezte be, amely kimagasló tisztaságú vnyilt használ a lemezeihez. Ráadásul a lemezeket az USA-ban préseltette és csomagoltatta luxus kivitelben.

A Sefel Records sztárja egy másik külföldi magyar, egy fiatal karmester, az 1948-ban Budapesten született Joó Árpád. ... A mostanáig kiadott repertoár elég szép számban fogyott, a hihetetlen bő kínálat mellett is, de az igazi csemege a 20. század két legnagyobb zeneszerzőjének, Bartók Bélának és Kodály Zoltánnak szentelt két lemezsorozat. Az előadásokat a budapesti Vigadó koncerttermében rögzítették a Budapesti Filharmonikusok, a Magyar Állami Hangversenyzenekar és a Magyar Rádió kórusa közreműködésével. A felvételek azt bizonyítják, hogy Jóó Árpád a művek tehetséges, mélyen beleérező értelmezője.”

Mindkét cikk hangvétele ironikus, főleg Ternovszky Béláé, akiről egyértelműen kiderül, hogy ő csak Sefel pénzét akarta. De fontosabb szerepet is betöltött: egy Esztergályos Cecília és Andorrai Péter főszereplésével készült filmjét az MTV is bemutatta, melyben producerként szerepel Sefel neve. Számomra a legizgalmasabb kérdés, hogyan jutott el odáig ez a magyarkeszi parasztgyerek, hogy Bartók zenéjét értékelje és élvezze? Nem tesz említést egyik szöveg se arról a kimagasló zenei eseményről, amelyet Sefel Jóska szervezett és szponzorált: Liszt Szent Erzsébet legendája c. oratóriumának előadásáról a Mátyás templomban. Fő célja az volt, hogy az akkori rezsím által nem kedvelt, külföldön élő magyar művészeknek hazai szereplési lehetőséget biztosítson. Egy nem régiben készült interjúban Marton Éva így számol be az eseményről, meg sem említve, kinek is köszönhette ezt a nagyszerű eseményt, amelyen hallgatóként én is részt vehettem:

„1984. július 19-én a Mátyás-templomban énekeltem ismét Erzsébetet. Joó Árpád vezényelt, Sólyom Nagy Sándor, Farkas Éva, Kováts Kolos, Gregor József voltak a partnereim. Közreműködött az ÁHZ és a Budapest Kórus. Liszt művét ezt követően a Hungarotonnal vettük fel stúdióban, szintén Joó Árpád vezényelt. Ezzel a felvétellel egy nagyon szép közös munka kezdődött el a Hungarotonnal, sok operát és egyéb műveket vettem fel velük. Partnereknek pedig kapcsolatom révén számos világhírű kollégát tudtam meghívni.”

A lemezről pedig egy 1985-ben megjelent kritika az alábbiakat írja, Sefel nevét meg se említve:

„Jövőre emlékezünk meg Liszt Ferenc születésének 175. és halálának századik évfordulójáról. Az ünneplés előjátékként a Hungaroton az idei hanglemez hetekre megjelentette a zeneszerző Szent Erzsébet legendája című oratóriumát. A háromlemezes, szép kiállítású album méltó nyitánya a tisztelgésnek. Nemcsak azért, mert Liszt nagy

sikerű művét tette újból széles körben hozzáférhetővé, hanem mert ehhez olyan közreműködőket sikerült megnyerni, mint a karmester Joó Árpád és a címszerepet éneklő Marton Éva.”

1985 júniusában rendezte a Magyar Geofizikusok Egyesület az EAEG éves nagy összejövetelét. Az ilyen nagyrendezvényekhez természetesen igen sok pénz kell, ezt rendszerint nagy geofizikai vállalatok adják össze, azaz szponzorálnak. Sэфel Jóska neve ott szerepelt a Vigadóban tartott nagy sikerű rendezvény szponzori listájának élén. Pedig akkor már gyülekeztek a sötét felhők a feje fölött. A rendezvény vége felé érkezett csak meg, és valahogy nem mutatkozott rajta a már megszokott magabiztosság. A Nemzeti Galériában tartott gálaesten próbáltam belőle kiszedni, mi a probléma, de elhessegette együttérző kérdéseimet. Hamarosan szállingózni kezdtek a hírek, hogy Sэфel tönkrement. Pontos részleteket ma se tudunk, de hogy mekkora is lehetett a Sefel Group és mekkora bajba jutott, az interneten fellelhető, a Calgary Herald 1985. november 16-i számának rövid híréből felmérhetjük: „A jelentések azt mutatják, hogy Sefel összadóssága \$ 49,5 millió.”

De Sэфel Jóskát nem olyan fából faragták, hogy ettől összetörjön! Önéletrajza szerint „Rossz politikai döntések miatt a Ny-kanadai olajcégek sorra tönkrementek, és velük együtt én is. 10 évig más tevékenységgel próbálkoztam. 1996-ban visszatértem az olajiparhoz, de nem mint szolgáltató, hanem saját kőolaj-kitermelő vállalatot alapítottam.” Ebben, a fiával közös Eastland Oil & Gas Ltd. cég-

ben dolgozott azután gyakorlatilag haláláig. Számára az élet és a munka elválaszthatatlan volt!

Utoljára az aranydiplománk átvétele alkalmából szerveztünk évfolyamtalálkozót. Akkor is megvendégtelt minket, ezúttal a Krúdy Gyula kedvenc kocsmája helyén alakult Kéhli vendéglőben. Itt is a törzsvendégnek kijáró kiemelt figyelemben volt részünk. Sajnos a gyémántdiplomára már nem tudott hazajönni, orvosa nem tartotta ajánlatosnak a hosszú repülőutat. És a vasdiplománk előtt egy évvel már a halálhíre érkezett.

Még egy témát fel kell vetnem: bár életének 87 évéből 64 évet külföldön élt, mindvégig magyarnak érezte magát. Rövid önéletrajzát is ezzel zárta: „Soha nem tagadtam meg magyarságomat...” De ez nála nem csak szólam volt, tetteivel is bizonyította. A magyar művészek támogatása, a magyar zeneművek és filmek népszerűsítése magáért beszél. Nem kérkedett olyan tetteivel, mint a Calgary Magyar Kulturális Központ létrehozása, melynek azután 25 évig az elnöke is volt, vagy szülőfaluja, Magyarkeszi templomának felújítása 1990 után, amikor már nem volt az a dúsgazdag ember, aki szabadon szórhatta a pénzét! Megérdemli, hogy emlékezzünk rá! Nyugodjék békében!

Végezetül köszönetet mondok Szanyi Bélának, aki Sэфel Jóska halálhírét tudomásomra hozta és aki felvetette e nekrológ megjelentetését, valamint Kovács Béla és Laczkovics József egykori évfolyamtársaimnak, barátaimnak, hogy emlékmorzsáikat megosztották velem.

Kilényi Éva

CSÖMÖDÉRPÁKA – 1953

Csoportképek

az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet szeizmikus csoportjáról –
a csoportvezető Ádám Oszkár, a vezető észlelő Polcz Iván volt

