

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.

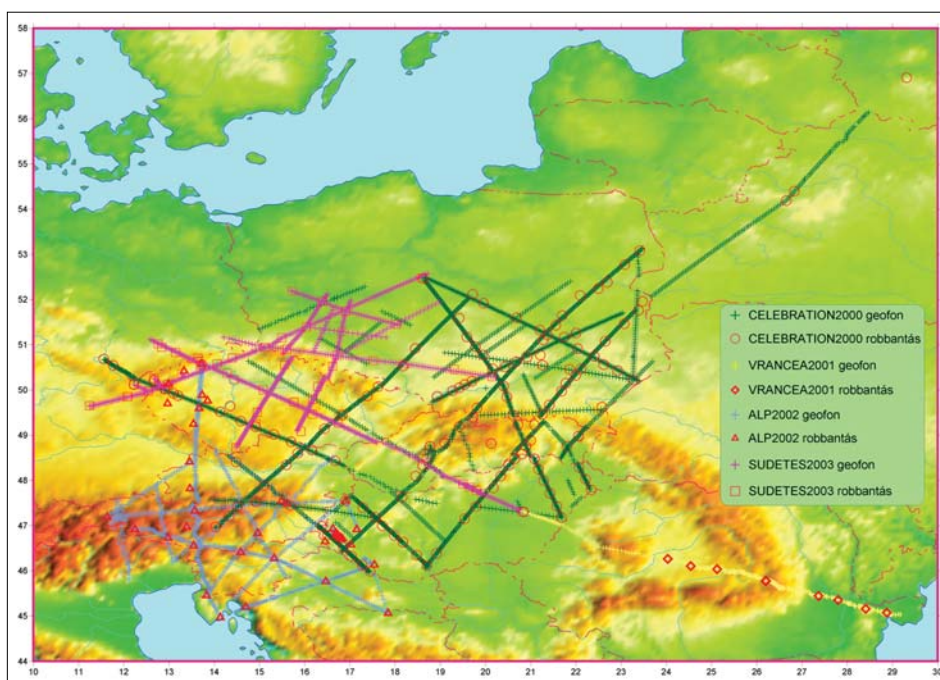
Considering seismic velocity depth sections, relative density and magnetization depth sections, and the regularities of depth variations of physical parameters we have tried to improve the previously known geological picture of the area. The paper presents the results achieved.

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 rácsegység, 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)

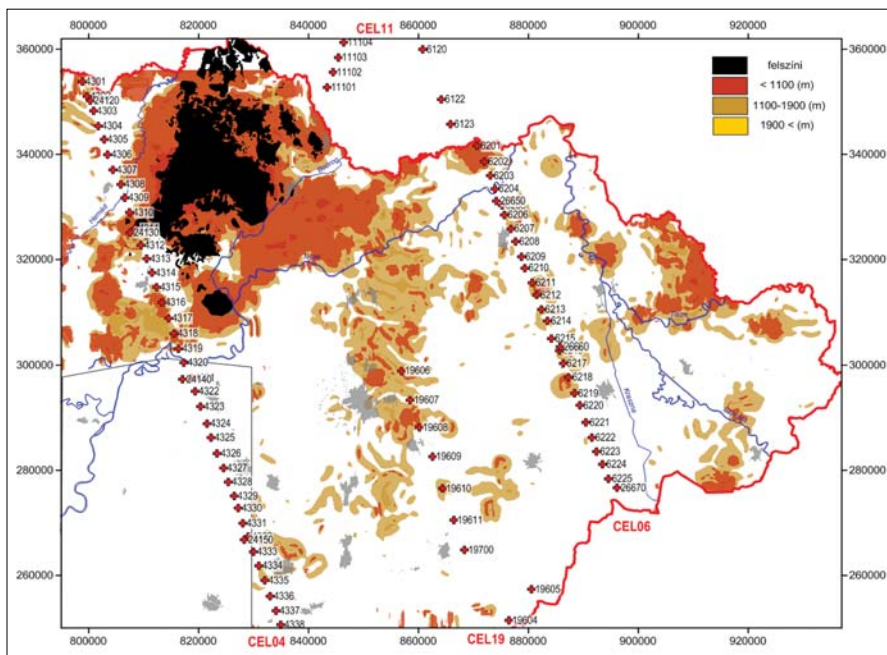
Első lépésben a 2D feldolgozásokból sebességmélység-szelvények készültek (3., 4. ábra).

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.

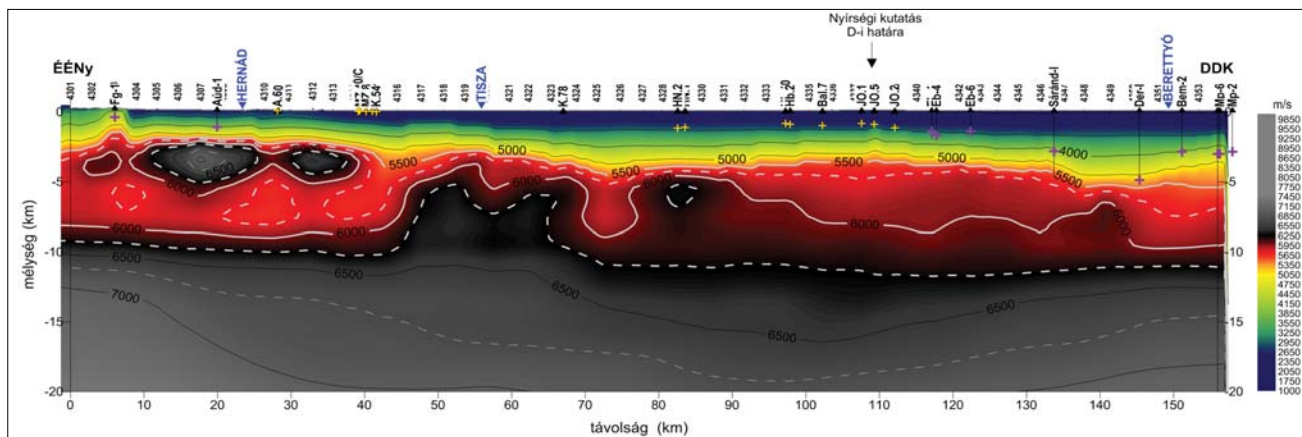
A Nyírség területén volt még egy nagyobb fedettséget adó, részletesebb 3D mérési kampány Kisvárdai térségében (Hajnal et al. 2004). Ennek a mérésnek a fő vonala a Nyi-7 szeizmikus reflexiós szelvényvel egyező, de rövidebb 2D szelvény. E vonal mentén 50–100 m geofontávolsággal (640 geofonnal) történtek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



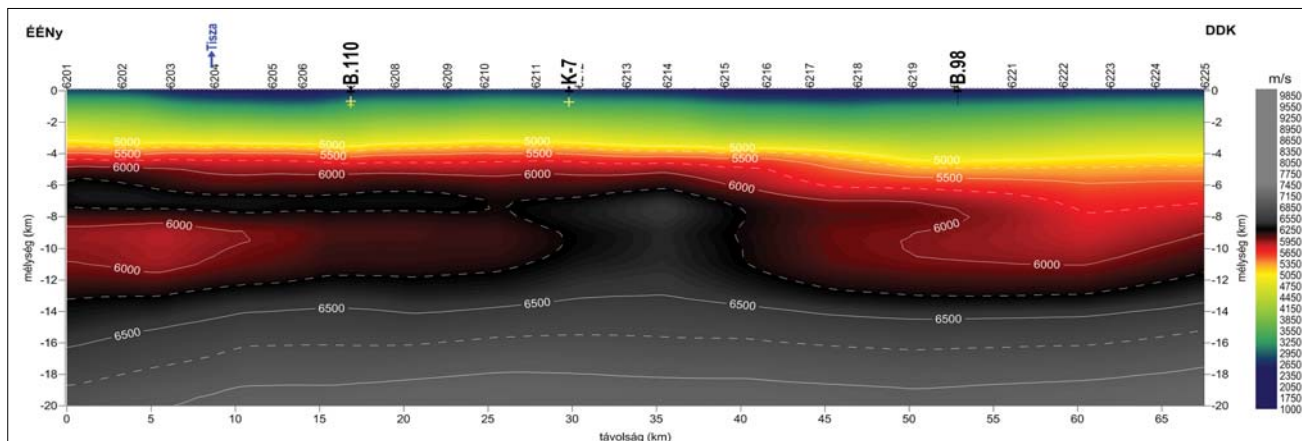
2. ábra A CELEBRATION-2000 program mérési pontjai (azonosítási számmal) a Nyírségben, az 1–2 km-es mélységű mágneses hatók elterjedési térképén

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)



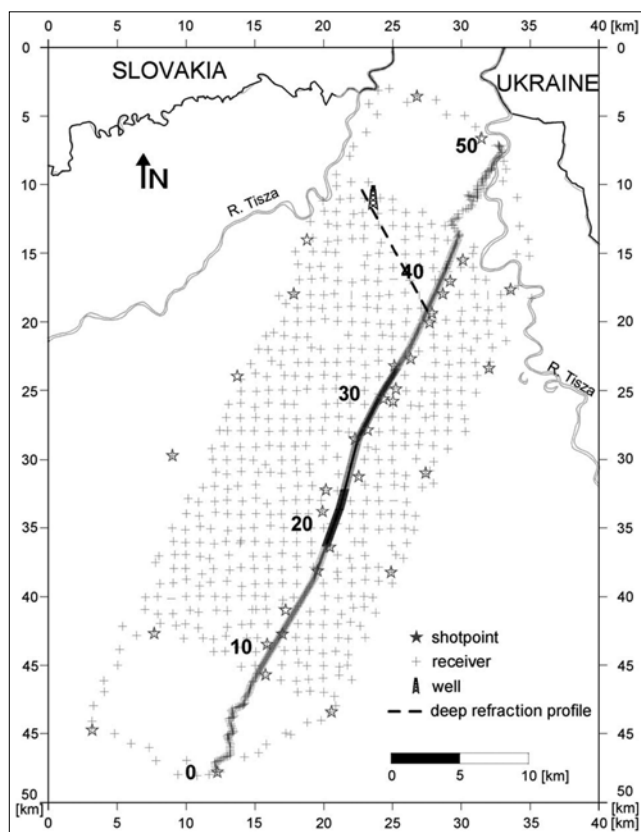
3. ábra Szeizmikus P-hullámsebesség eloszlása a CEL04-szelvény mentén (kimagasított, teljes hossz: 152 km)

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 shot-points (★) and geophones (+) (Hajnal et al. 2004)

tűek, 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, feltételesen 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.

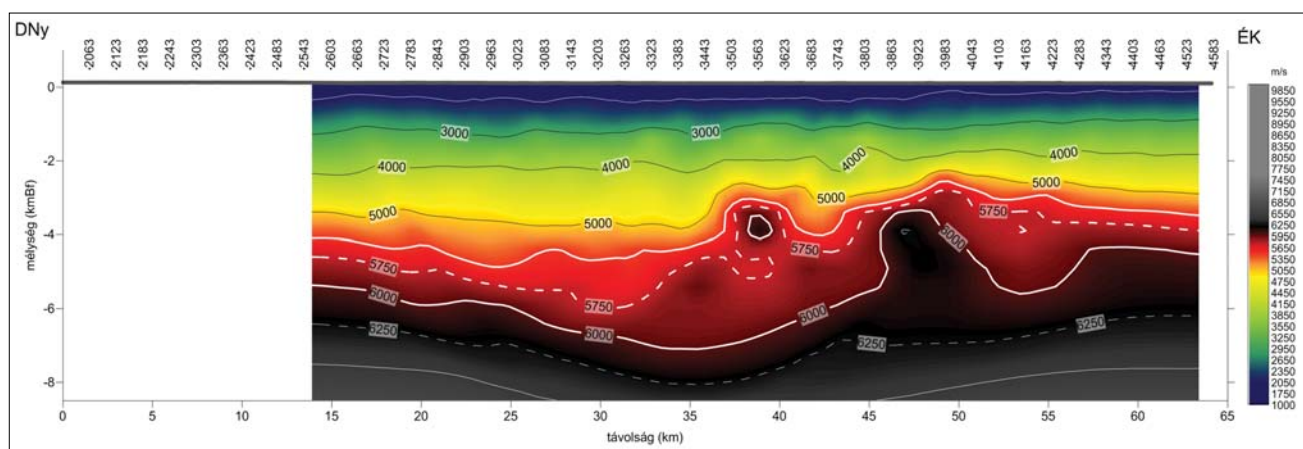
Az 5800 m/s-os szint már összefüggő zárt felületet mutat és csak alatta azonosíthatók a kiugró sebességanomáliák. Az 5000 m/s szint is még e szint felett lesz, és a feltételezett legmélyebb medencealjzat-mélység is a Nyírségben 5 km-re tehető a gravitáció alapján, de 2–3 km-nél nagyobb mélységekben a 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⁾.

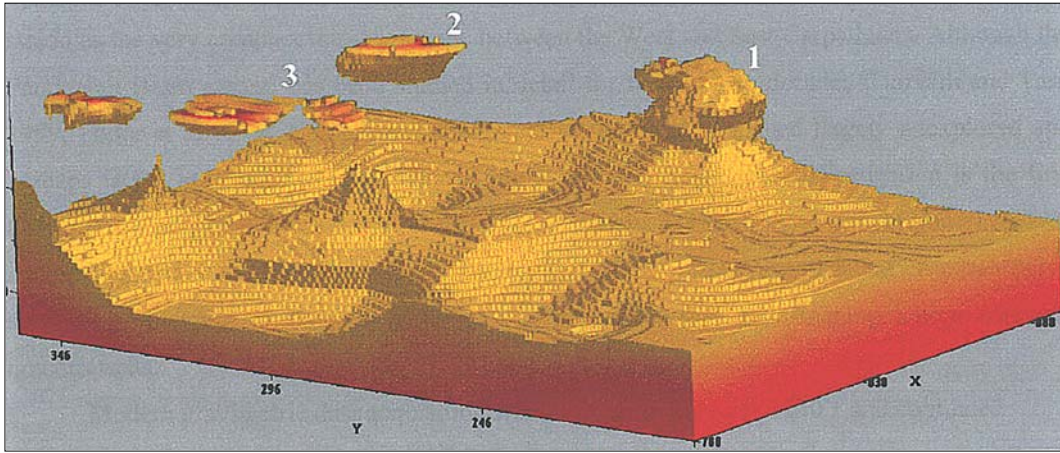
A ritka adatokból készült feldolgozás 5–10 km mélységben egy, a Kárpátok vonulatával párhuzamos, nagy sebességű vonulatot – a kompresszióra (nyírási zóna irányára) merőleges frontvonalat vagy torlódási felületet – jelez.

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



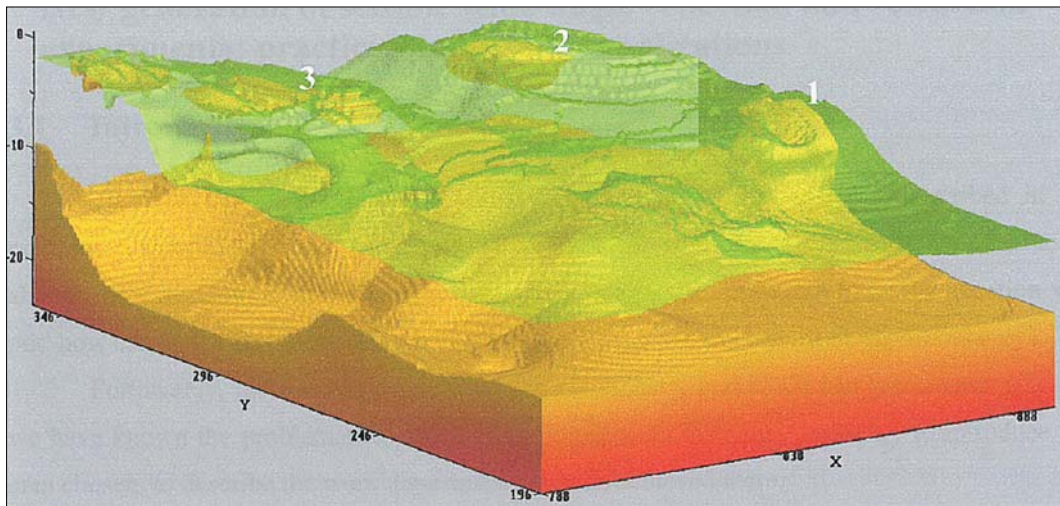
6. ábra Szeizmikus P-hullámsebesség eloszlása a Nyi-7-szelvény mentén (kimagasított)

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



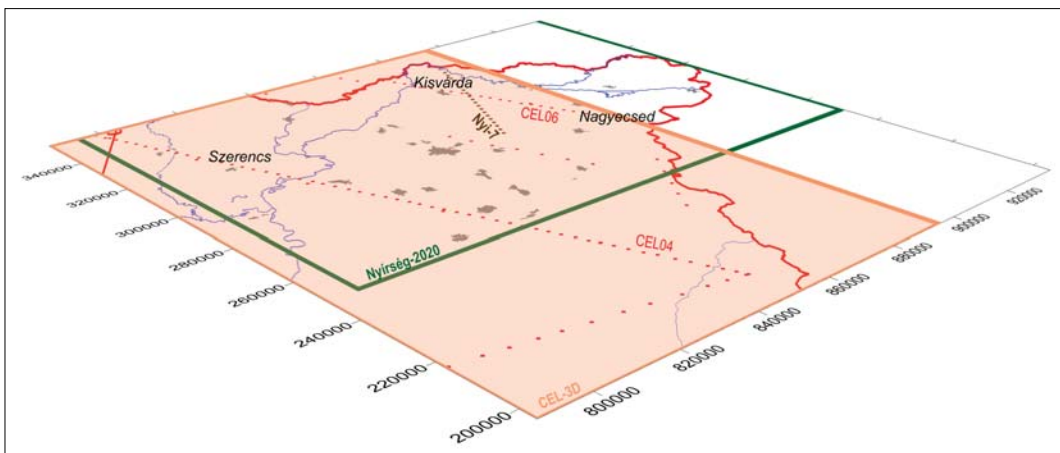
7. ábra A 6500 m/s sebesség felszíne a 3D feldolgozások alapján. Jól azonosíthatóak a sebességtérben „úszó” nagy sebességű lávaképződmények: 1 – Nagyecsed; 2 – Kisvárdá; 3 – Szerencs. A mélységskála a 8. ábra szerint (forrás: Hegedűs 2004)

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)



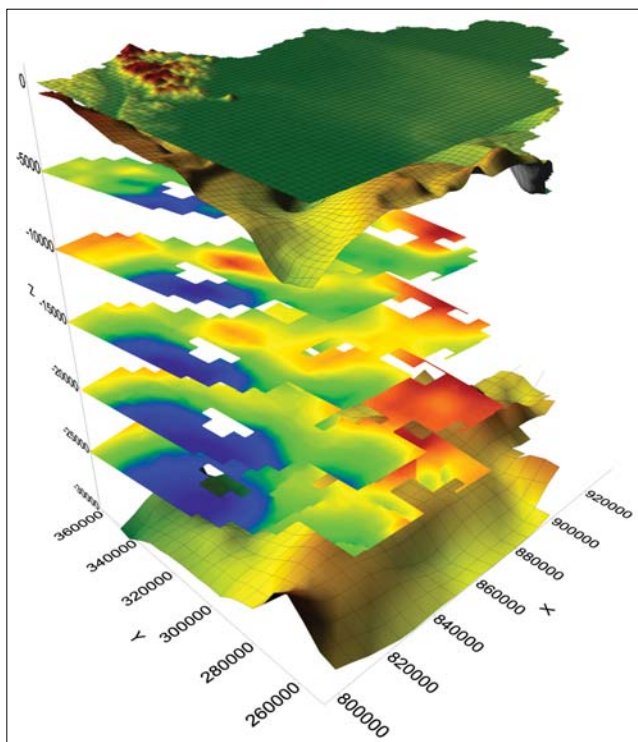
8. ábra Az 5800 m/s (zöld) és a 6500 m/s (világosbarna) sebesség felszíne a 3D feldolgozások alapján (forrás: Hegedűs 2004)

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 rezgékeltésnek 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

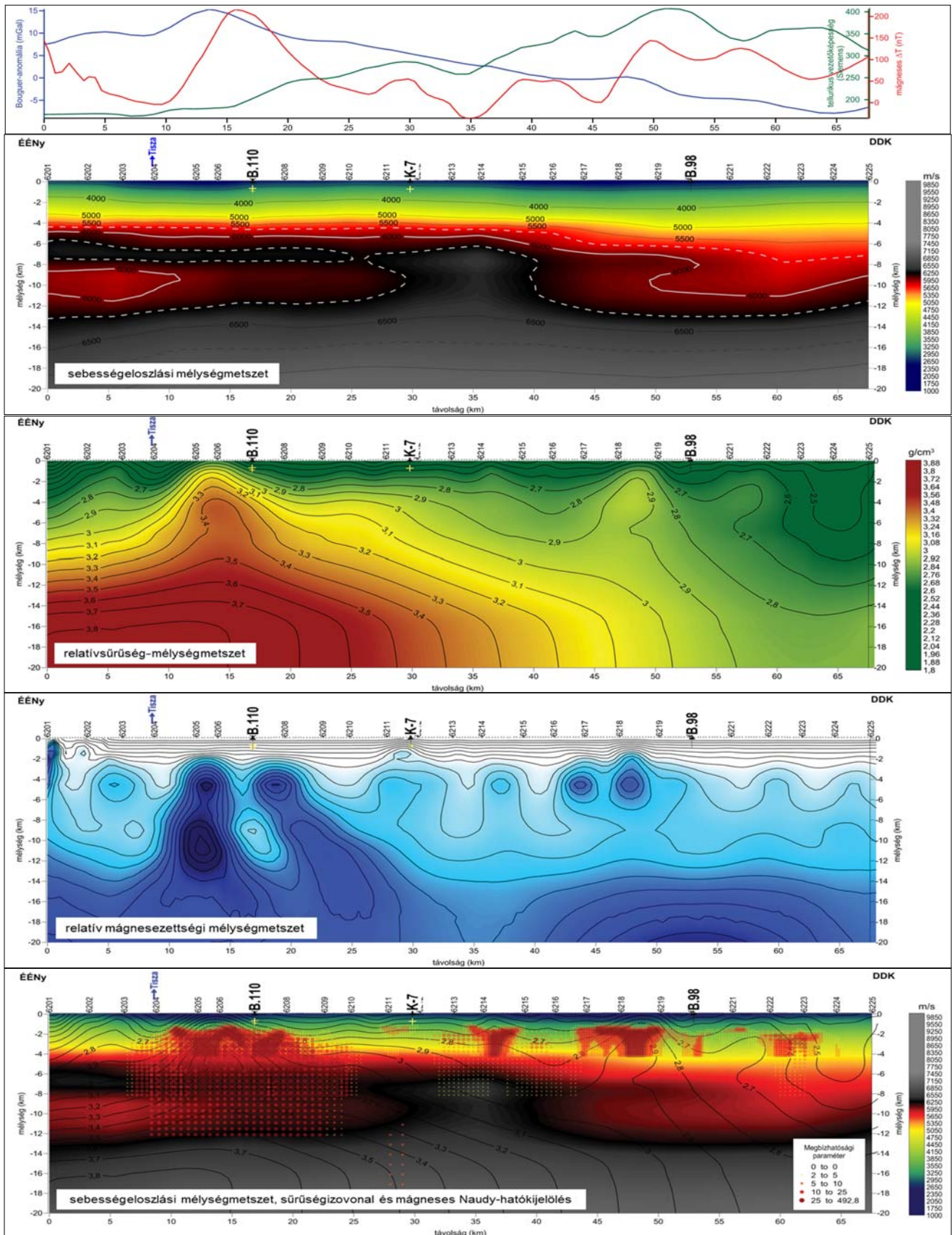
A szeizmikus litoszférakutató szelvény nyomvonala mentén rendelkezésre állnak a térképező geofizikai módszerek adatai, mint a gravitációs Bouguer-anomália, a mágneses ΔT -anomália és a tellurikus vezetőképesség-anomália. A forrásadatok és a szűrt, transzformált adatok további vizsgálatokat tesznek lehetővé, 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 mágnesezettség-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 öszszlet 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 szelvény megjelenítés, 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.

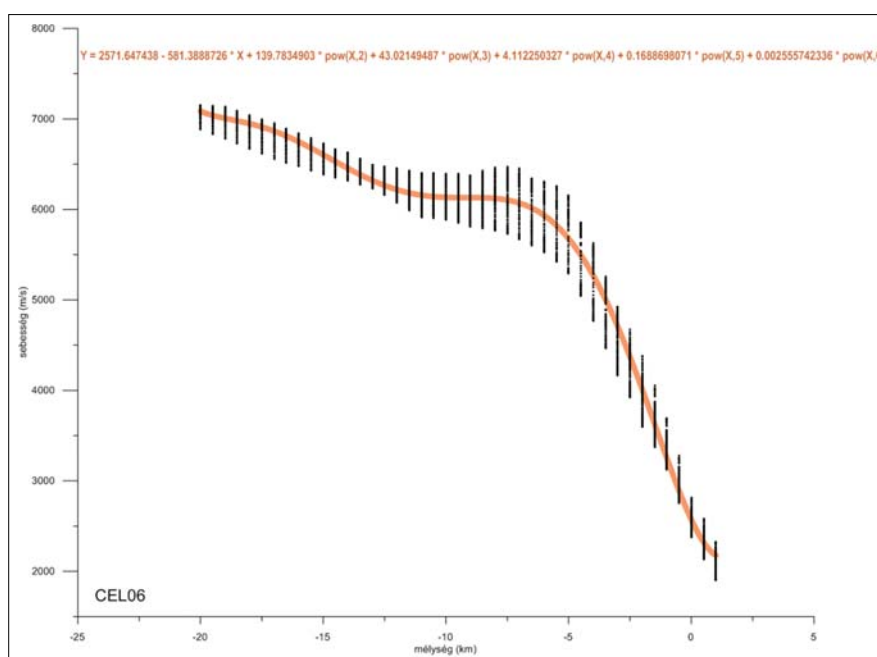
Egy hatodfokú polinom írja le a mélység (x) és a sebesség (y) kapcsolatát:

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

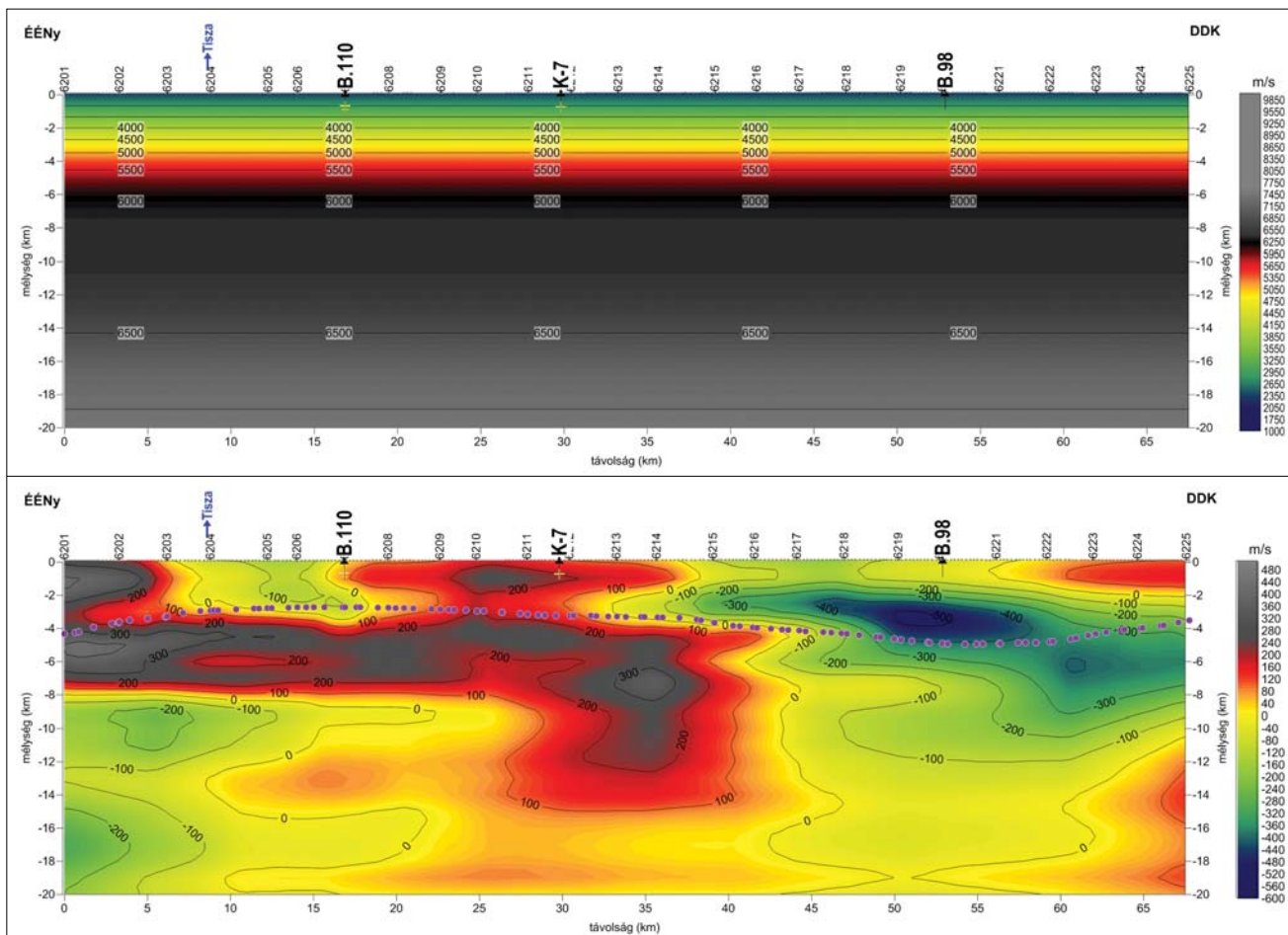
A sebességadatok által kirajzolt pontfelhő (12. ábra) a medencealjzat megjelenését 6 km-nél nagyobb mélységben és 6000 m/s-nál nagyobb sebességgel jelzi, azaz a nagy sebességű medencealjzat a mérési adatok alapján 6 km mélyen, ~6000 m/s sebességgel jellemezhető.

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 sebességtrend (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).

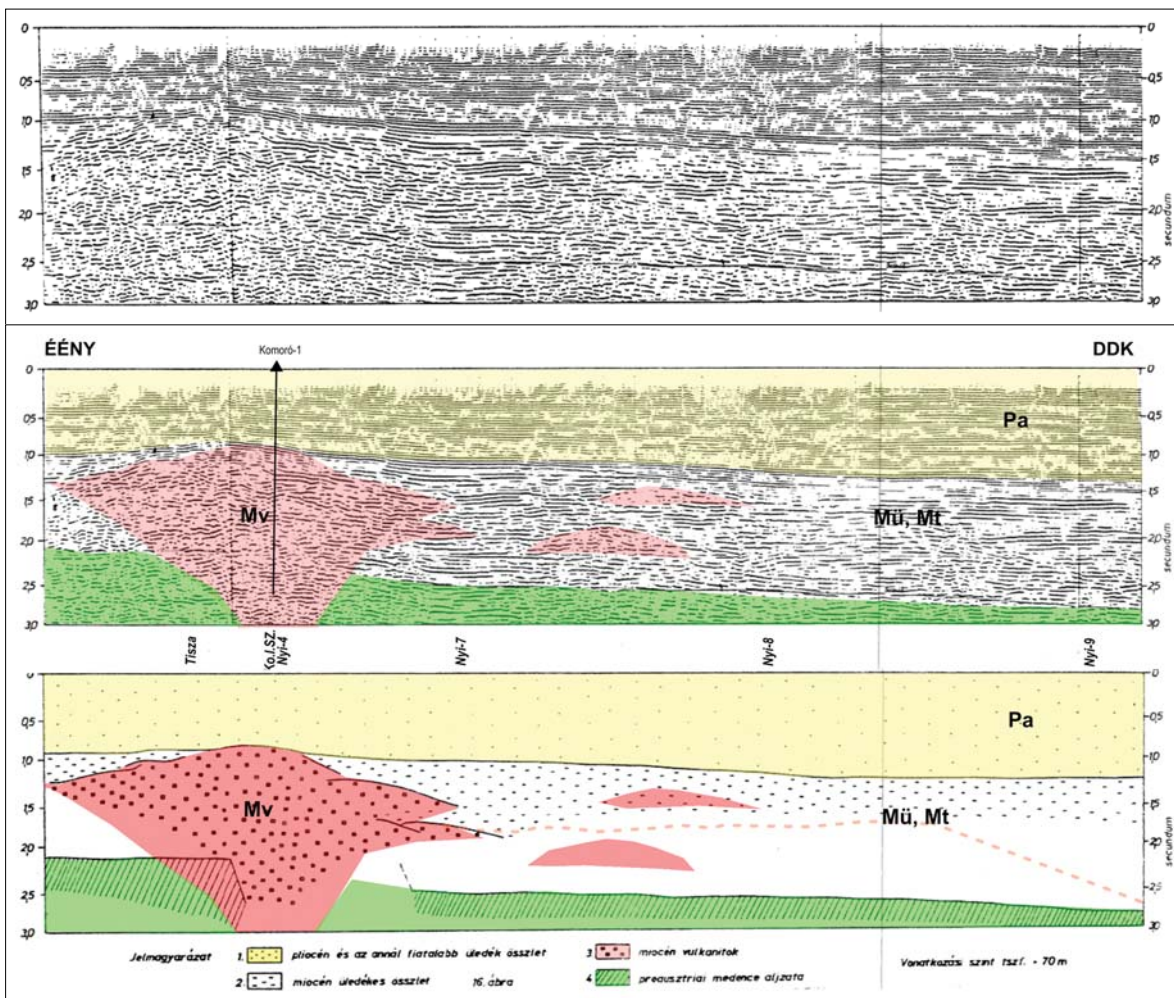
A CEL06-szelvényhez közel, majdnem párhuzamosan, szögeltéréssel halad a No-22 szeizmikus reflexiós szelvény. A szelvényt Bodoky Tamás és társai publikálták az

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.

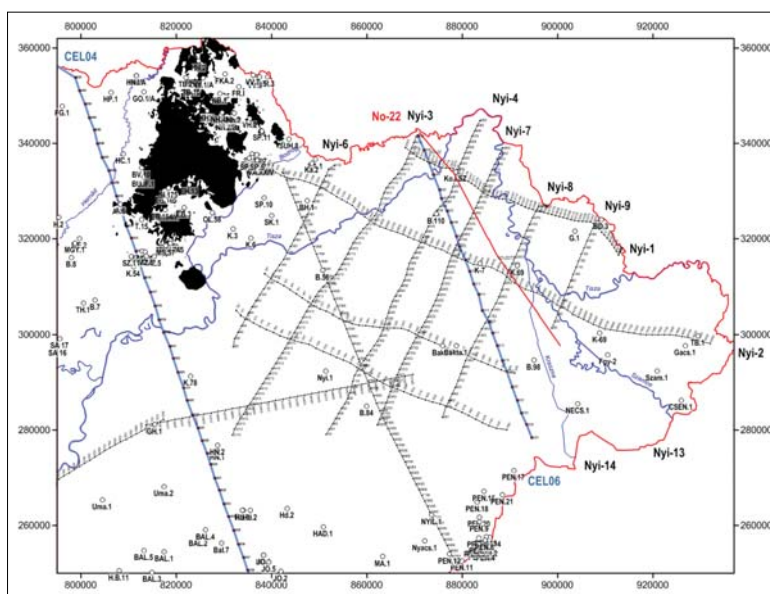
A szelvény helyét a 15. ábra mutatja. Az értelmezés során (14. ábra) meghatározták a vulkáni testek várható helyzetét, a pannon összletek talpmélységét (1200–1400 m) és a „preausztriai” medencealjzatot (3400–5300 m). Mind a pannon talp, mind a medencealjzat szintje É-ről D-i irányban mélyül.

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)



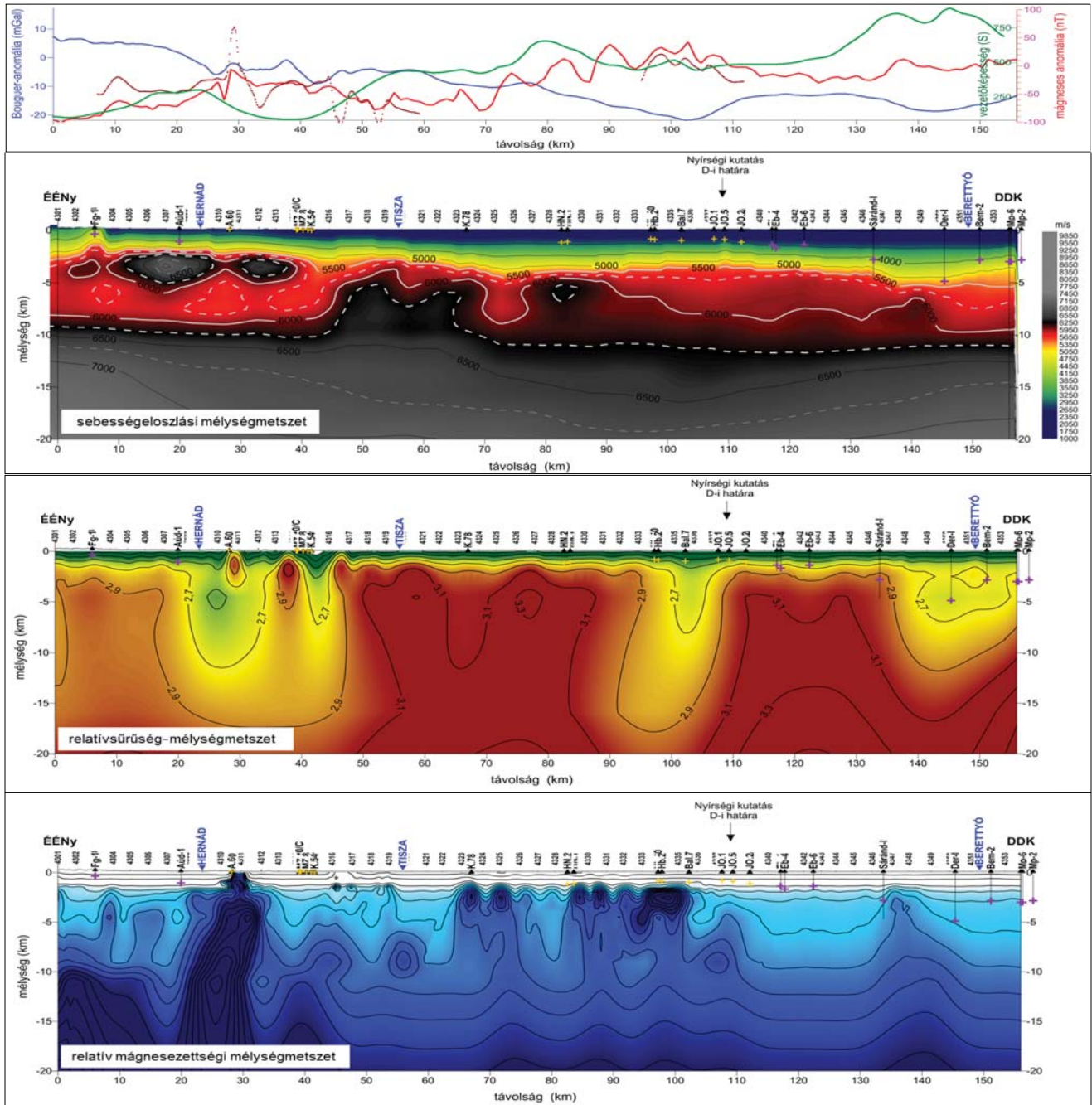
15. ábra Fontosabb szeizmikus mérések nyomvonalai, és a No-22-szelvény nyomvonala (pirossal) a CEL-szelvények (kékkel). Fekete poligonok jelzik a felszíni vulkanitokat

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 km-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-anómália értékét korigáltuk a Moho várható helyzete alapján, azaz eltávolítottuk belőle a mélyhatásokat (izosztatikus korrekció).



16. ábra Gravitációs Bouguer-anómália (kék), mágneses ΔT -anómália (piros, légi adatok: barna) és tellurikus vezetőképesség-anómália (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

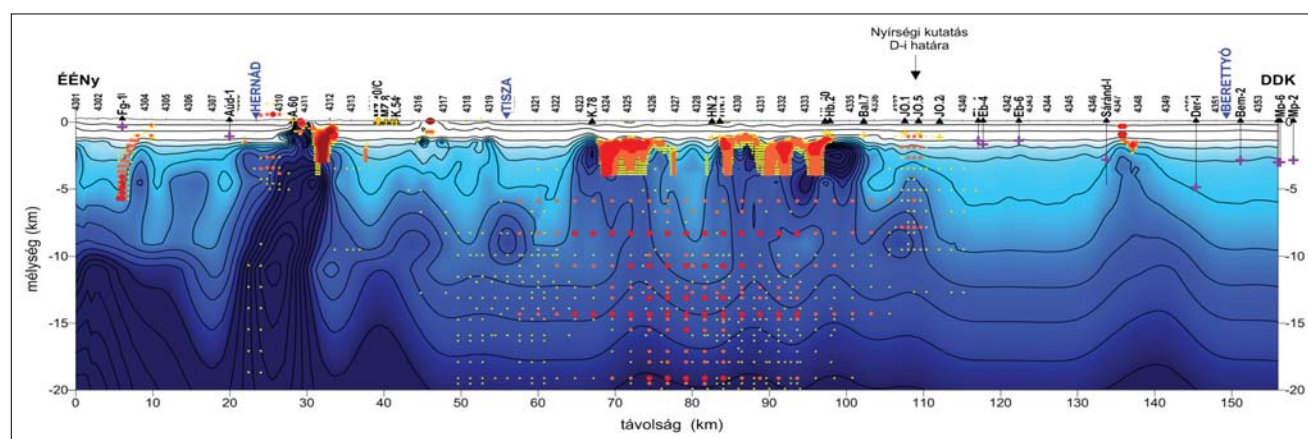
A gravitációs adatok mélységi szeletelésével előállítottuk a relatív sűrűség-mélységmetszetet (16. ábra, alul). A metszeten a legszembetűnőbb szerkezetek a Hernád-vonal 25–30 vkm-nél, illetve a Közép-magyarországi nyírási zóna 90–105 vkm között, de megjelenik a Derecskei-árok is 145 vkm-nél. A Hernád 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 felszínközelségben, 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-

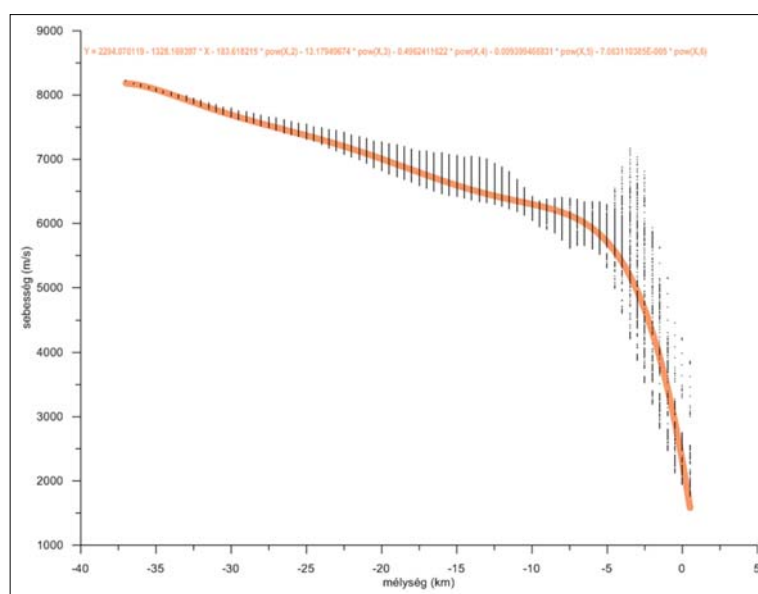
telezni, de alatta a mély nyírási, fellazulási zóna itt is azonosítható. A Derecskei-árok már kívül esik a nyírségi kutatási területen.

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.

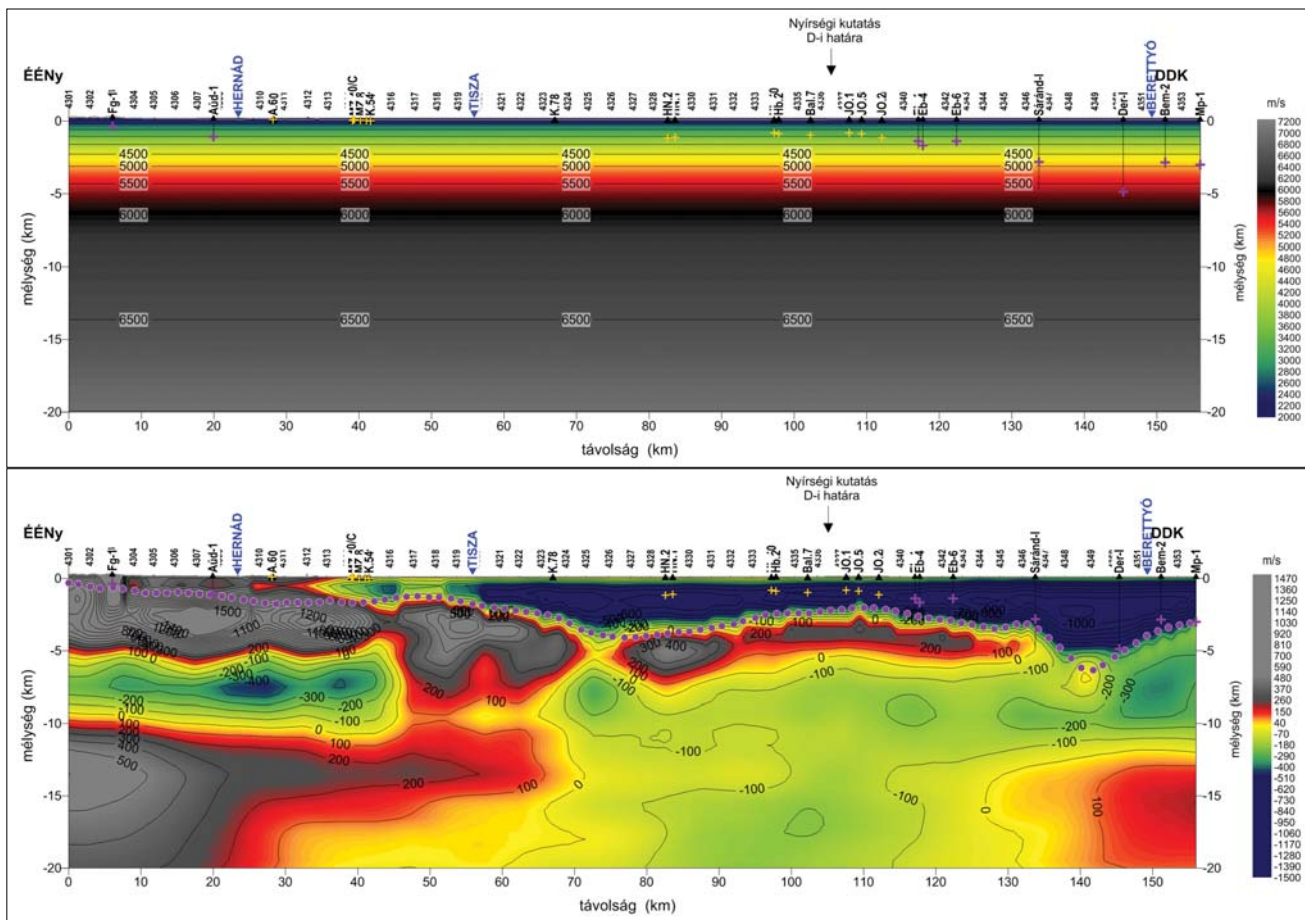
A CEL04-szelvény sebességadatait is megvizsgáltuk a sebességtrend alapján (18. ábra).

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 Kilényi–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 Kilényi–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 lávaképződésekkel 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

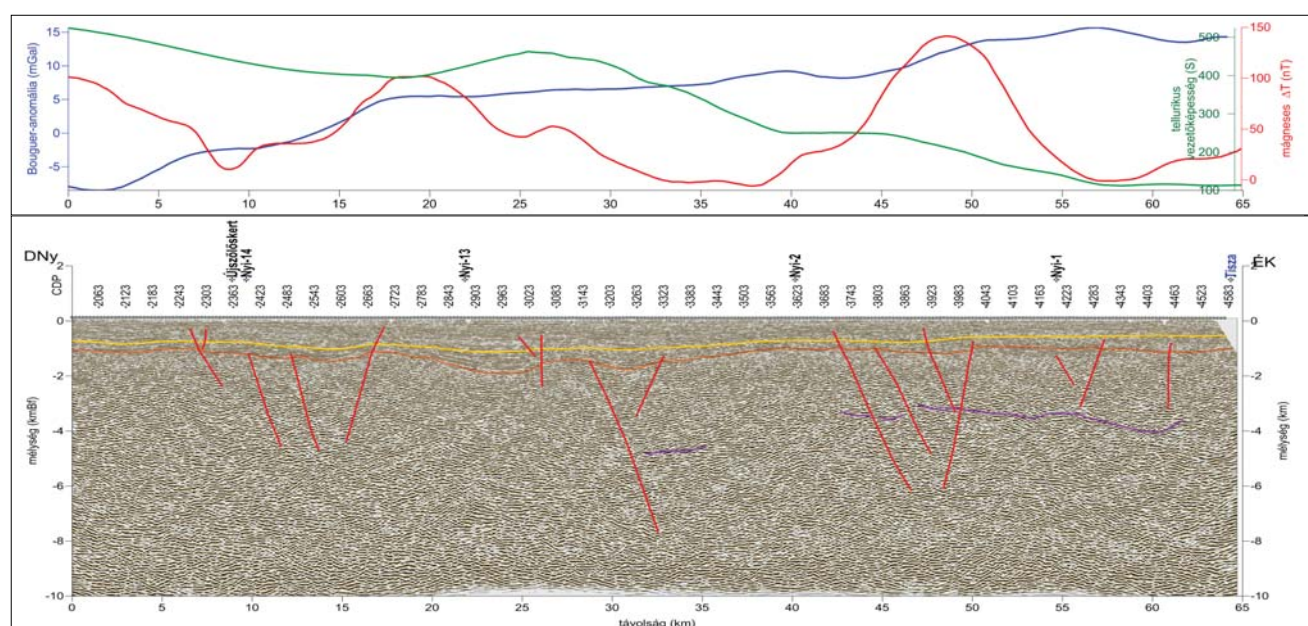
A Nyi-7 szeizmikus szelvény (20. ábra) mentén DNy-ről ÉK-re haladva a Bouguer-anomália-görbe értéke folyamatosan nő. Ezzel párhuzamosan a fajlagos vezetőképesség

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.

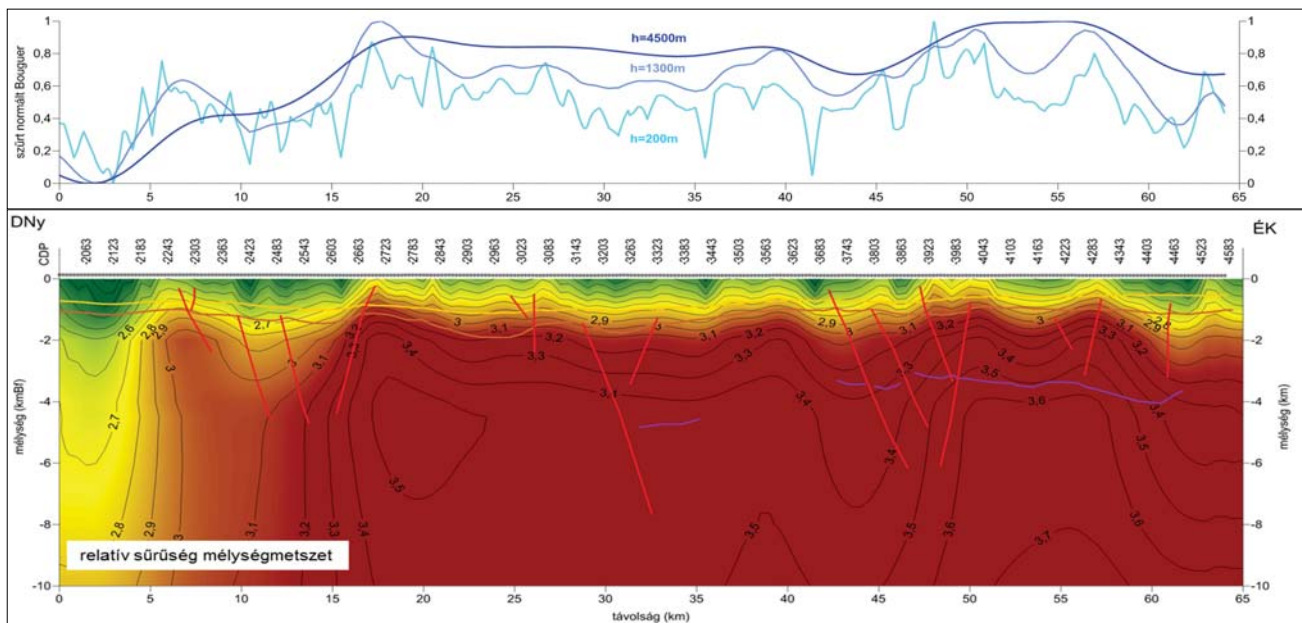
A spektrális szűrés után a 4500 m-es mélység görbében (21. ábra, felül, sötétkék görbe) 3 blokk különíthető el (0–17 vkm, 17–40 vkm és a 47–58 vkm), valamint az azokat elválasztó szerkezeti zónák. Az 1300 m-es szinten megjelenő lokális anomáliák (21. ábra, felül, középkék görbe) már a miocén összletekkel 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 mélységszelvény és alapgörbéi {gravitációs Bouguer-anomália-, mágneses ΔT -anomália- és tellurikus vezetőképesség-anomália-görbék (felül), értelmezett szeizmikus mélységszelvény (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))

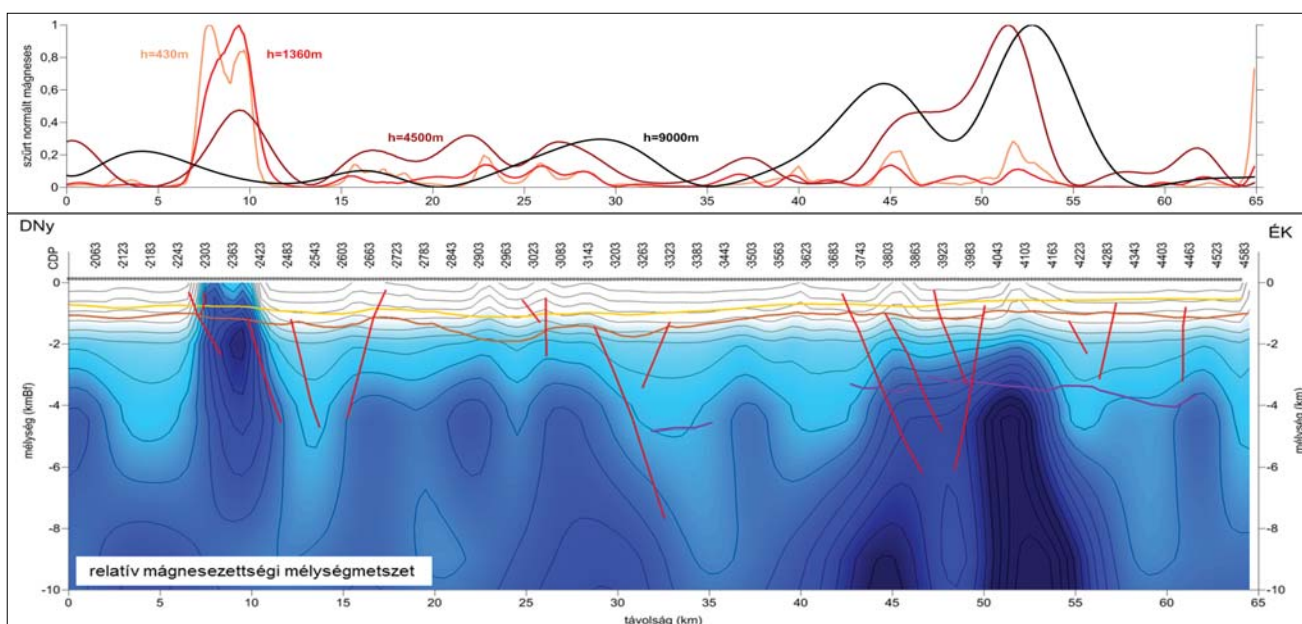
Figure 21 Nyi-7 relative density depth section (filtered, normalized gravity anomaly curves (top) and density section with seismic interpretation levels (bottom))

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.

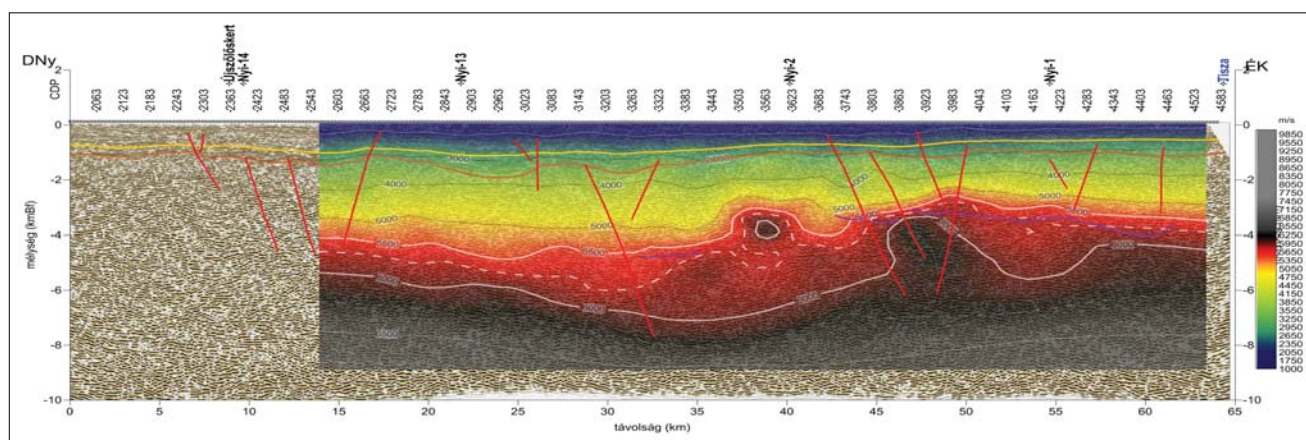
A másik maximumvonalat 40–57 vkm között azonosítható, de ez már csak a 4500 és 9000 m-es spektrális mélységek mágneses változékonysági görbéjén jelenik meg. Ez a hatás tehát jóval mélyebb (egyfajta gyökérzóna), a felszínt már csak elenyésző méretű/mágneszettségű hatók közelítik meg. A 9000 m-es mélység 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 mágneszettségi metszeten is azonosítani lehet. Sajnos a 10 vkm-nél azonosított felszínközeli mágneses ható helyét a kisvárdai projekt mérései nem fedték le.

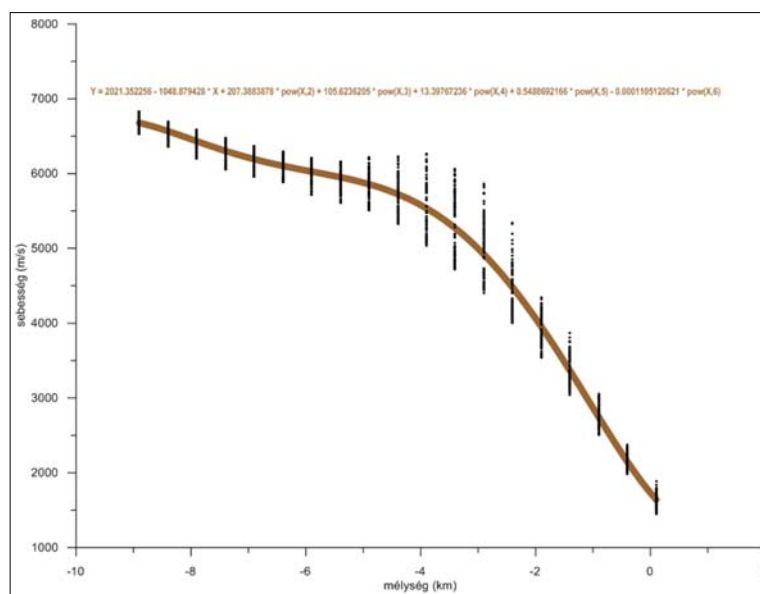
A szelvényre meghatároztuk az átlagos sebességmélység trendet (24. ábra), amely leírja 10 km-es mélységig a sebesség átlagos menetét. Az összefüggés segítségével, ahogyan a CEL04- és CEL06-szelvények esetében már megtettük, itt is meg tudjuk határozni a sebességanomáliát, azaz a normális sebességnövekedéshez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

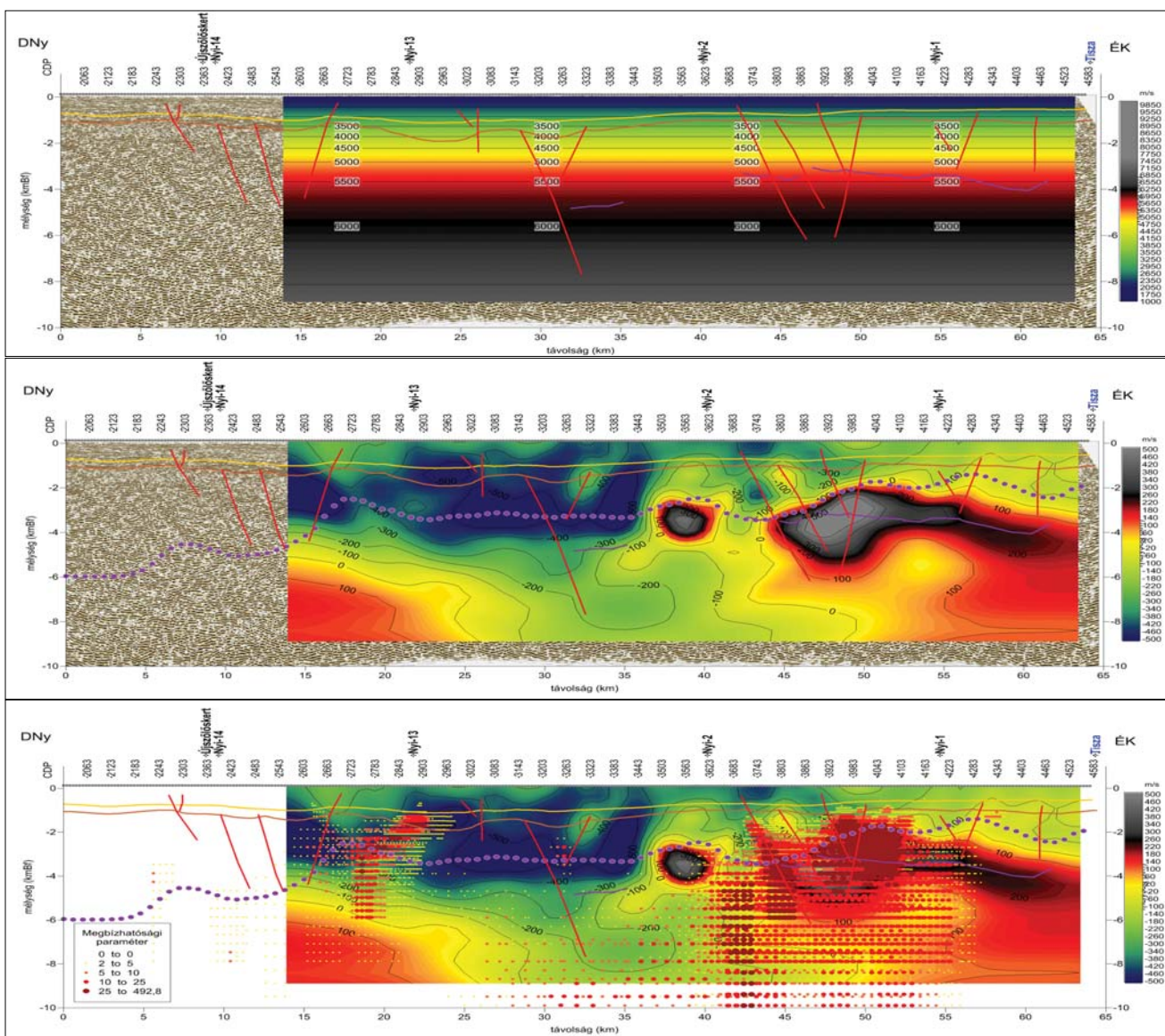
$$y = 2021,352256 - 1048,879428x + 207,3883878x^2 + 105,6236205x^3 + 13,39767236x^4 + 0,5488692166x^5 - 0,0001105120621x^6.$$

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-

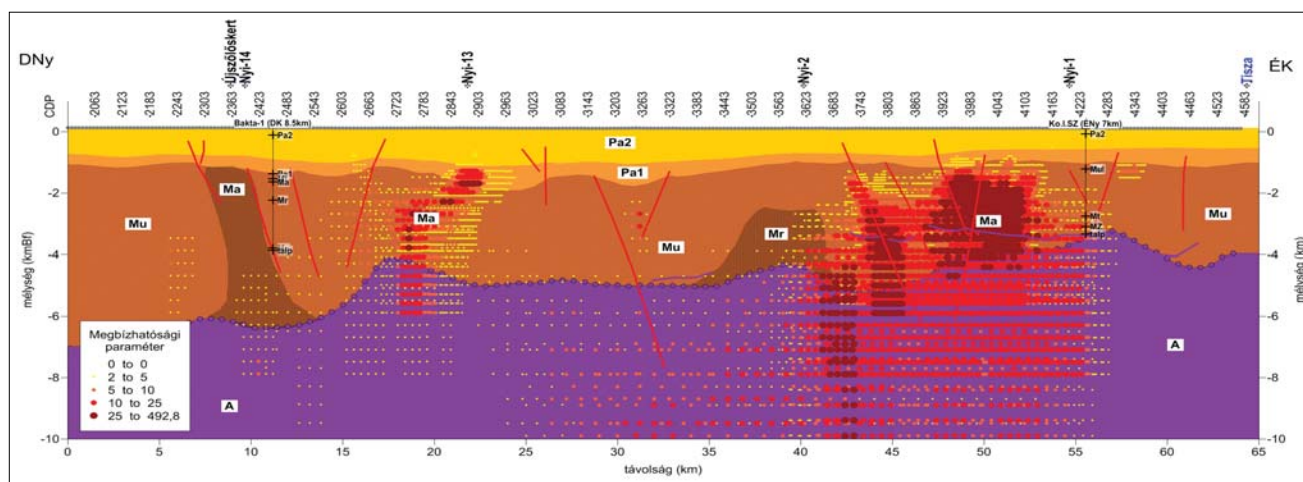
je, vagy pozitív sebességanomália esetén miocén lávaképződmények megjelenése várható. A negatív értékek fellazulási zónára, mélyülő medencére vagy tektonikára utalhatnak.

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 sebességadatok a sebességmélység összefüggésekből (12., 18., 24. ábra) határozottan kirajzódnak.

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 lemerített 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
 Kilenyi 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/>