

Vulkáni formáció szeizmikus leképezése egy Tokaj környéki kutatási területen CRS-összegzési eljárás alkalmazásával

KISS V.¹, TAKÁCS E.^{2,@}

¹Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Geofizikai Tanszék,
3515 Miskolc-Egyetemváros, A/2 épület, II. emelet

²Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat,
1145 Budapest, Columbus u. 17–23.

@E-mail: takacs.erno@mbfsz.gov.hu

Tanulmányunkban egy, a Tokaj várostól délre fekvő területen, a Taktaközben, végzett 2D szeizmikus reflexiós felmérés adatainak kísérleti újrafeldolgozását mutatjuk be. A szerkezetkutatási és geotermikus célú terepi méréseket, valamint az adatok korábbi feldolgozását és földtani értelmezését a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (MBFSZ) hajtotta végre 2020-ban. A cikkben ismertetett újrafeldolgozás során először a hagyományos Közös Mélység Pont (CDP) szerinti összegzési eljárást alkalmaztuk. Ezután a miocén korú szekvencián belüli összetett (üledékes és vulkáni) földtani struktúrák jobb felismerése céljából egy új összegzési technikát, a Közös Reflexiós Felület (CRS) szerinti eljárást próbáltuk ki. Utóbbi elvégzéséhez feltétlenül szükséges egy hagyományos összegzéssel előállított végleges migrált szelvény, amely modell- (pilot-) szelvényként szolgál az újszerű reflexiós összegzés alkalmazása során. A tanulmány végén elemezzük az új módszer előnyeit a kutatási területen előforduló összetett miocén korú formációk esetében.

Kiss, V., Takács, E.: Seismic imaging of a volcanic formation utilizing CRS stacking technique in a study area near the city of Tokaj

Results of an experimental 2D seismic reflection data reprocessing are presented from the area of Taktaköz, south from the city of Tokaj. Previous field survey, data processing and geological interpretation with the aim of structural and geothermal investigations were carried out by the Mining and Geological Survey of Hungary (MBFSZ) in 2020. In this study, the recent data reprocessing procedures, first the results of a conventional Common Depth Point (CDP) reprocessing is demonstrated. Later, the novel Common Reflection Surface (CRS) technique is advised to get higher quality images from the complex (sedimentary and presumably volcanic) formations of the Miocene sequence. To perform this novel stacking technique, a conventional final migrated stack is necessary which provides a model (pilot) section for the CRS processing. At the end of the study, advantages of CRS stacking are discussed from the viewpoint of imaging complicated geological formations in the Miocene sequence of the area of investigation.

Beérkezett: 2021. március 19.; elfogadva: 2021. június 16.

Bevezetés

A geotermikus célú kutatások iránt napjainkban egyre nagyobb az igény, mivel a geotermikus energia részben megújuló és tiszta energiaforrás. A felszín alatti földtani felépítés többnyire ismeretlen, a feladat ennek feltérképezése többféle geofizikai módszer alkalmazásával (gravitációs és földmágneses térképezések, geoelektromos mérések, szeizmikus kutatások és mélyfúrás-geofizikai szelvényezések). Jelen tanulmányban egy Tokaj városához közeli 2D

szeizmikus szelvény mentén gyűjtött adatok újszerű reflexiós feldolgozásával foglalkoztunk. A szeizmikus felmérést, a korábbi adatfeldolgozást és földtani értelmezést a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat (MBFSZ) végezte el a 2020. évben.

A tanulmányban közölt kísérleti adatfeldolgozásunk során először a hagyományos Közös Mélység Pont (CDP) szerinti eljárást alkalmaztuk. Ezután a szeizmikus kép pontosabb tétele és főleg a miocén korú szekvencián belüli összetett földtani struktúrák egyértelműbb fel-

1. táblázat A szeizmikus felmérés legfontosabb paramétereit (az MBFSZ szívésségéből)

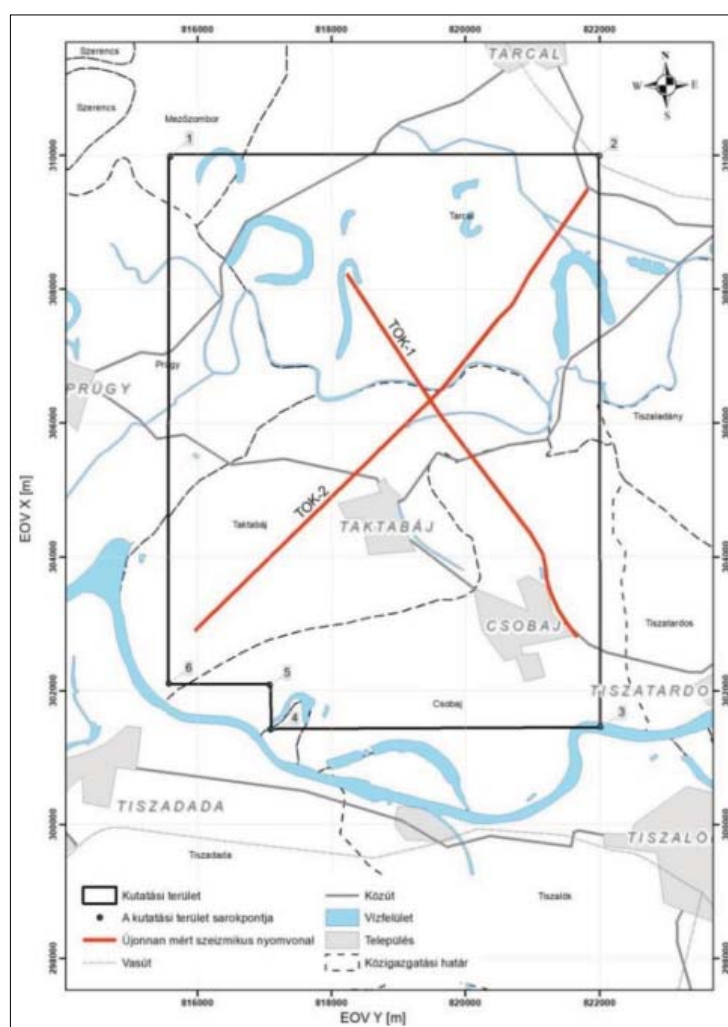
Table 1	The most important field survey parameters (by courtesy of MBFSZ)
Csatornaszám	500
Geofontávolság	10 m
Forrástávolság	10 m
Névleges fedésszám	250
Beterített földrajzi távolságok	TOK-1: 6111 m TOK-2: 8847 m
CDP-távolság	5 m
Minimális forrás–geofon távolság	2,5 m
Maximalis forrás–geofon távolság	2475 m
Sweepfrekvencia	10–100 Hz (lineáris)
Felvételhossz	4 s
Időbeli mintavétel	1 ms

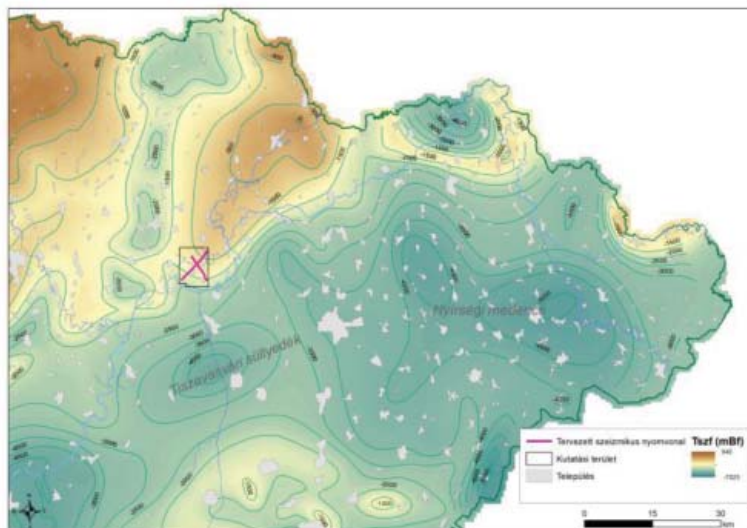
ismerése érdekében egy viszonylag új technikát, a Közös Reflexiós Felület (CRS) szerinti összegzés módszerét használtuk. Megjegyezzük, hogy a kutatási területen két szelvény reflexiós adatai állnak rendelkezésre (TOK-1 és TOK-2), azonban ebben a tanulmányban részletesen csak a TOK-1 szelvény mentén elért eredményekkel foglalkozunk. Mindemellett elkészült a másik szelvény adatainak CRS összegzési eljárással való újrafeldolgozása is (Kiss 2021).

A terepi mérések legfontosabb paramétereit és a szelvények helyszínrajzát az 1. táblázatban, illetve az 1. ábrán mutatjuk be.

Földtani környezet

A kutatás helyszíne Borsod-Abaúj-Zemplén megyében a Tokaj, Tarcál, Taktabáj és Csobaj települések által határolt kb. 54 km²-es terület, amely a Tisza árterén (Taktaköz) található 90–95 m-es tengerszint feletti magasságú síkság. A felszíni topográfia miatt gyakoriak a rossz lefolyású terü-

**1. ábra** A 2D szeizmikus szelvények helyszínrajza (az MBFSZ szívésségéből)**Figure 1** Location map showing the 2D seismic profiles (by courtesy of MBFSZ)



2. ábra A kutatási terület a prekainozoos medencealjzat-domborzatának térképén (az MBFSZ szívességéből)
Figure 2 Location of the study area on the topography of pre-Cenozoic basement (by courtesy of MBFSZ)

letek, melyek jelentősen megnehezítették a terepi mérések kivitelezését (Bauer et al. 2020).

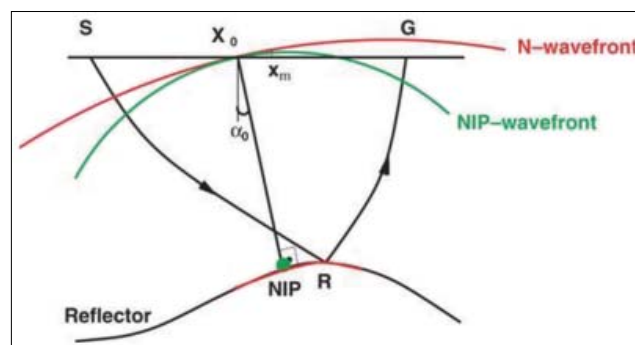
Tokaj térségében a geotermikus gradiens értéke viszonylag magas, ezért a terület adottságai miatt alkalmas lehet a geotermikus energia hasznosítására, kisebb hőigényű létesítmények energiaellátására. A jelen tanulmányban különböző kifejlődésű üledékes és feltételezhetően vulkáni formációk kerülnek bemutatásra. A két köztegyütttes hidrogeológiai tulajdonságai eltérőek, így az üledékes és a vulkanikus közettestek lehatárolása nyilvánvalóan fontos feladat a geotermikus kutatás szempontjából. Sajnos a kutatási területen 500 m-nél mélyebb fúrási adatok nem állnak rendelkezésre. Az MBFSZ által 2020-ban mért szeizmikus adatok azonban így is lehetőséget nyújtottak a terület földtani képződményeinek részletesebb megismerésére, a geológiai formációk dőlésének és szerkezetének meghatározására, az üledékes és a lehetséges vulkáni képződmények lehatárolására, illetve vetők kimutatására (Bauer et al. 2020). A kutatási terület tágabb környezetét a 2. ábrán közöljük.

A CRS adatfeldolgozás

A Közös Reflexiós Felület (CRS) szerinti összegzési eljárást olyan bonyolult szerkezetű geológiai szerkezetek szeizmikus leképezésére fejlesztették ki, amelyekre a hagyományos Közös Mélység Pont (CDP) szerinti összegzés nem adhat kellően pontos képet. A hagyományos eljárás alkalmazásával jól leképezhetőek a szelvény menti földtani szerkezetek egyértelmű vonásai. A képalkotási lehetőségek, a reflektorok koherenciája azonban nem megfelelőek a meredek dőlésű (vagy például gyűrt) földtani formációk esetén. Ilyenkor a jel/zaj viszony lecsökken, ezért a reflektorok helyenként nem jól láthatók, és gyakran megszakad a folytonosságuk. Ennek oka, hogy nagyobb dőlésű határfelületek esetén a szeizmikus hullámok nem egy-

egy pontról (CDP), hanem elemi felületekről (CRS) tükröződnek vissza, ami azonban figyelembe vehető az egyedi csatornák összegzésekor, ahogy azt a későbbiekben részletezzük.

A CRS összegzési technikát az 1990-es évek végén vezették be azzal a céllal, hogy jó minőségű képeket kapjunk a fent említett geológiai szerkezetekről. A reflektált hullámok menetidőinek kiszámításához a CRS-eljárás három hullámtér-attribútumot alkalmaz, amelyek geometriai optikai alapon határozhatók meg. Mindhárom paraméter a reflektált hullámfrontokkal van összefüggésben (Hubral, Krey 1980, Hubral 1983, Höcht et al. 1999, Jäger 1999). Ezek az alapvető attribútumok a „nullaofsztű sugár” felszíni beérkezési szöge, a „normál beesési pont (NIP)



3. ábra CRS attribútumok: 1) A „nullaofsztű sugár” beérkezési szöge (α_0). 2) A „normál beesési pont (NIP) hullám” frontjának görbülete (zölddel jelölve), amely az X_0 pontból a NIP pontba halad és az X_0 pontba verődik vissza. 3) A „normál (N) hullám” frontjának görbülete (pirossal jelölve), amely a forrásból (S) indul, az R pontról verődik vissza és a geofonhoz (G) érkezik be (Mandal et al. 2014)

Figure 3 CRS attributes: 1) Emergence angle (α_0) of the zero-offset central ray. 2) Curvature of the NIP-wavefront (marked with green) of the central-ray going from X_0 to NIP and reflecting back to X_0 . 3) Curvature of the N-wavefront (marked with red) of the normal-ray going from the source (S) to the receiver (G) reflecting at the location of R (Mandal et al. 2014)

hulám” frontjának a görbülete és a „normál (N) hullám” frontjának a görbülete, amelyeket a 3. ábra szemlélti (Landa et al. 1999, Mandal et al. 2014). A CRS-adatfeldolgozás során ez a három paraméter automatikus koherenciaanalízissel számítható, analitikus trajektóriákat illesztve az összegzés előtti CDP-gyűjteményekre.

A fenti sugárelmélet a reflektált beérkezésekre matematikailag az alábbi formában adható meg (Mann et al. 1999, Jäger et al. 2001, Menyoli 2002):

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

ahol t a menetidő, t_0 a „nullaofszetű menetidő”, x_0 a „nullaofszetű sugár” beékezési helye a felszínen, h a féltávolság a forrás és a vevő között, x_m a középpont koordinátája és v_0 a felszínközeli sebesség. Az α_0 , R_{NIP} és R_N paraméterek a fentebb megnevezett CRS-attribútumokat jelentik. Az újszerű eljárásnak számos előnye van szerkezetileg bonyolult geológiai viszonyok esetén. Egyrészt magasabb jel/zaj viszony érhető el a hagyományos CDP-összegzéshez képest, másrészt pedig a reflexiós felületeket pontosabb geometriával lehet leképezni, mivel a CRS-algoritmus figyelembe veszi a reflektorok dőlését.

A geometriai optika alapján kidolgozott módszer (Common Reflection Surface stacking) másik újdonsága, hogy olyan mélységben változó méretű elemi felületeket használ a szeizmikus csatornák összegzéséhez (Hubral 1999, Jäger 1999, Mann et al. 1999, Yilmaz 1999, Jäger et al. 2001,

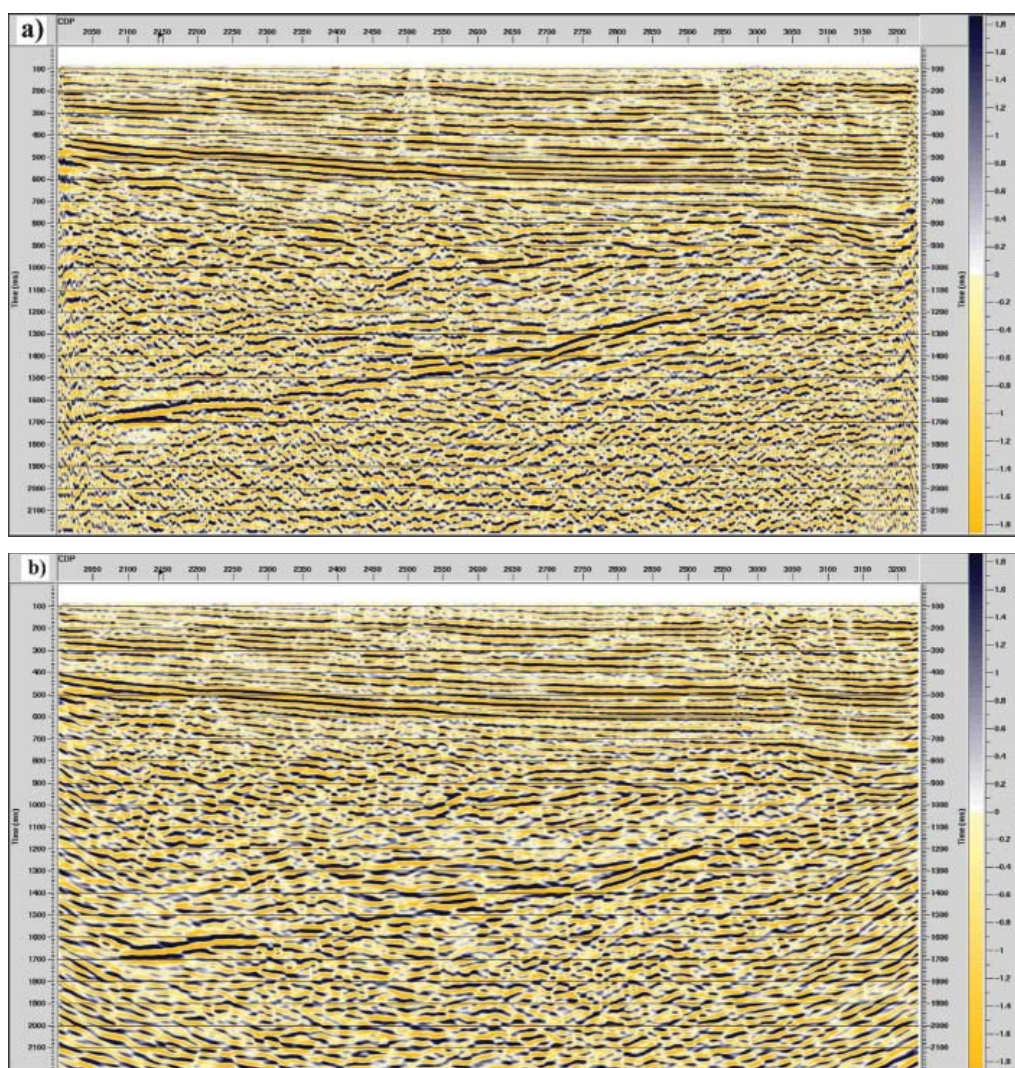
Menyoli et al. 2004), amelyek több reflexiós pontot foglalnak magukban, mint a hagyományos CDP szerinti összegzés.

A CRS-módszer alkalmazása a gyakorlatban két teljes és egymásra épülő feldolgozási folyamatot igényel. Minden CRS összegszelvény előállításához *először egy modellszelvényt kell előállítani*, a hagyományos CDP szerinti összegzési technikával és az utána végrehajtott migrációval. Ez a (pilot-) szelvény lesz az egyik bemenet a későbbi CRS-összegzéshez. A „pilot”-szelvény alapján lehetővé válik a reflexiós felületek dőlésének meghatározása, változó dőlésű egyeneseket illesztve a szelvény minden egyes mintavételi helyén és automatikus koherenciaanalízist alkalmazva (CRS Z_0 Search). Ez az egyik kritikus adatfeldolgozási lépés, melynek megbízhatóságát a dölésekkel együtt számított Semblance-együtthatók segítségével ellenőrizhetjük. A dőlésmeghatározás jelentősége egyrészt az, hogy a dőlt (vagy görbült) reflektorokon meg lehet határozni a merőleges beesésű visszaverődési pontok (NIP) helyzetét. Másrészt pedig a kapott értékeket a későbbi CRS-összegzés során figyelembe lehet venni az NMO-korrekciónak (valójában DMO-korrekciónak) végrehajtásakor.

A CRS összegszelvény előállításához szükséges *második adatfeldolgozási folyamat* maga a CRS szerinti összegzés (CRS Stack), melynek bemenetei a dőléstáblázat és a hagyományos előfeldolgozási eljárással kapott, NMO-korrekciónak nélküli CDP-gyűjtemények összessége. Itt kritikus paraméter a mélységfüggő CRS operátor mérete, vagyis az a távolság, amelyen belül az összegzés történik. Ezt a paramétert a mélység (kétszeres futási idő) függvényében gondosan elvégzett tesztekkel lehet meghatározni, melyeknél a horizontális felbontóképességgel összefüggő

2. táblázat | A hagyományos CDP szerinti újrafeldolgozás lépései
Table 2 | Steps of the conventional CDP data reprocessing

Sorszám	Adatfeldolgozási művelet	Megjegyzés
1.	Csatornaszerkesztések	KILL
2.	Automatikus erősítésszabályozás	ablakhossz: 250 ms
3.	Sávszűrés	6–10–60–70 Hz
4.	Hanghullámelnyomás	sebesség: 340 m/s
5.	Jósló dekonvolúció	jóslási távolság: 16 ms
6.	Refrakciós statikusok alkalmazása	–
7.	Sávszűrés	6–10–60–70 Hz
8.	RMS sebességtér bevitel	–
9.	Normál kilépési korrekció	–
10.	Automatikus erősítésszabályozás	ablakhossz: 250 ms
11.	Időben változó trim statikusok	fél ablakhossz: 100 ms
12.	Csatornaszerkesztések	MUTE
13.	CDP szerinti összegzés	–
14.	F-X dekonvolúció	ablakméret: 10 csatorna × 300 ms
15.	Időben és térben változó sávszűrés	16–20–40–50 Hz és 6–10–40–50 Hz
16.	Összegzés utáni időmigráció	Kirchhoff-féle algoritmus



4. ábra A végleges CDP-szelvények; a) végleges összecszelvény, b) végleges migrált (pilot-) szelvény
Figure 4 Final CDP sections; a) final stack, b) final migrated stack (pilot section)

Fresnel-zóna sugarából célszerű kiindulni. Az eddigi tapasztalatok azt mutatják, hogy tanácsos ennél lényegesen kisebb méretű CRS operátorokat használni a túlságosan kevert és simított reflexiók kép elkerülése érdekében.

A TOK-1 szelvény adatainak kísérleti újrafeldolgozása

A hagyományos CDP szerinti újrafeldolgozás során a korábbi feldolgozási folyamatból (2020) átvettük a zajos terepi csatornák kijelöléseit, a refrakciós statikus korrekció értékeit és a reflexiósebesség-analízis eredményeit. A modellszelvény előállítás céljából a 2. táblázatban közölt feldolgozási lépéseket hajtottuk végre. Az adatfeldolgozási folyamatban a legfontosabb változtatás az volt, hogy a korábbi spiking dekonvolúció helyett, részletes tesztek után jósló dekonvolúciót alkalmaztunk (5. feldolgozási lépés). Ennek megfelelően lejjebb vittük a szűrőparamétereket (3., 7. és 15. lépések), mivel elsődleges célunk a szel-

vény menti alacsonyabb frekvenciás és feltételezhetően vulkáni eredetű miocén formáció leképezésének javítása volt.

A fenti adatfeldolgozás eredményeként a 4. ábrán látható reflexiók szelvényeket kaptuk, melyek közül a migrált változat szolgált modellszelvényként a későbbi CRS-feldolgozáshoz.

Az újszerű CRS szerinti feldolgozás végrehajtásához a 3. táblázatban feltüntetett lépéseket alkalmaztuk továbbra is a ProMAX szeizmikus adatfeldolgozó rendszer használatával (Landmark Graphics Corporation). Megjegyezzük, hogy a 100 ms szélességű időablakkal elvégzett AGC-műveletet (1. adatfeldolgozási lépés az alábbi táblázatban) csak a dőlésszámítás megbízhatóságának növelése érdekében használtuk, és a tényleges feldolgozási folyamatban sehol nem alkalmaztunk ilyen kis szélességű időkaput amplitúdószabályozás céljából.

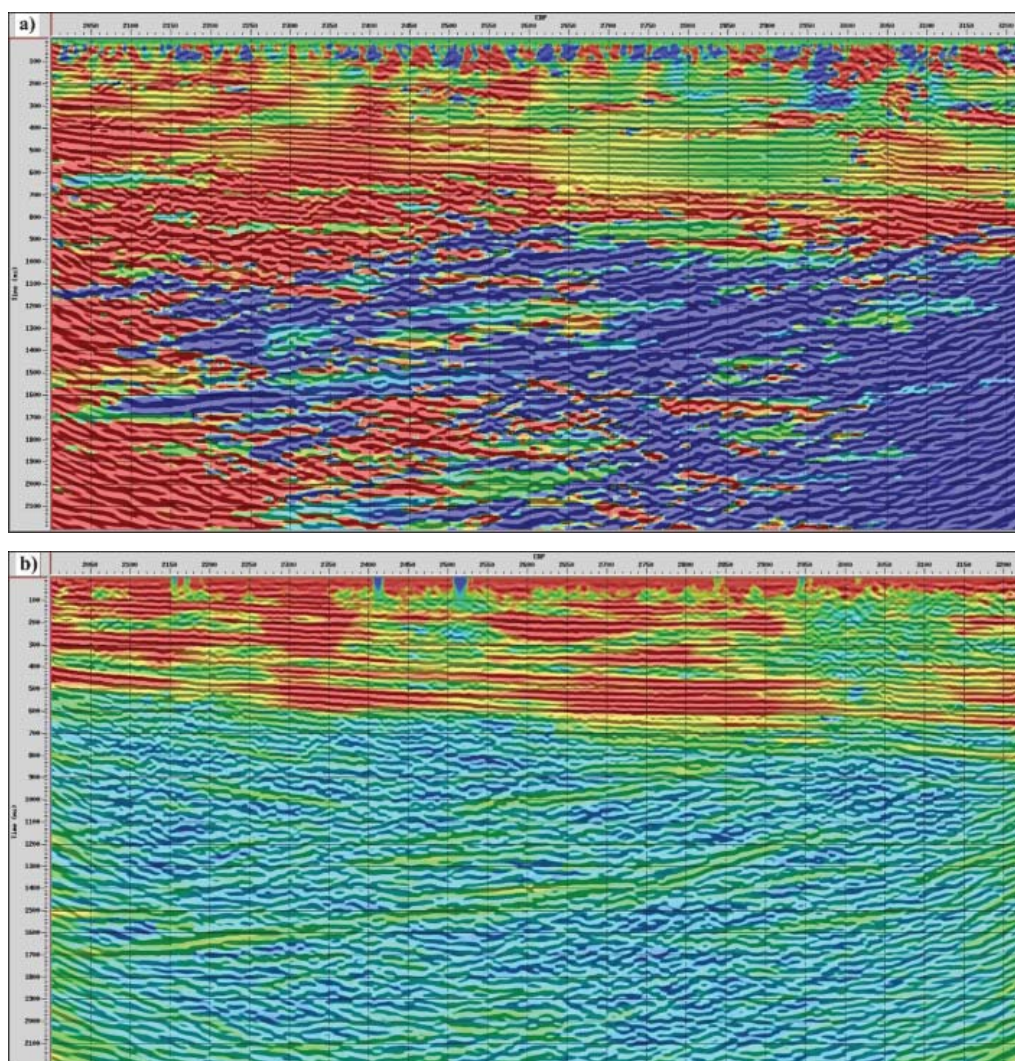
A dőlésszámítás (2. lépés a fenti táblázatban) eredményeit, a dőlésértékeket és Semblance-együtthatókat az 5. ábrán mutatjuk be. A dőlésszelvényen a pozitív dőlésű reflexiók események piros, a negatív dőlésűek kék, a közel

3. táblázat | Az újszerű, CRS szerinti adatfeldolgozás lépései
Table 3 | Steps of the novel CRS data processing

Adatok és feldolgozási műveletek	Megjegyzés
– Modellszelvény (migrált CDP-időszelvény)	Bemenő adatok
1. AGC 100 ms időablakkal (később eltávolítva)	Adatfeldolgozási műveletek
2. Dőlésszámítás (<i>CRS Z₀ Search</i>)	
– Dőlés- és Semblance-együttható-táblázatok	Kimenő adatok
– Előfeldolgozás során nyert CDP-gyűjtemények NMO-korrekció előtt, valamint dőléstáblázat és RMS-sebességtér	Bemenő adatok
3. CRS szerinti összegzés (<i>CRS Stack</i>)	Adatfeldolgozási műveletek
4. F-X dekonvolúció	
5. Időben és térben változó frekvenciaszűrés	
6. Összegzés utáni Kirchhoff-féle időmigráció	
– Migrált CRS-időszelvény	Kimenő adatok

vízszintes események pedig zöld színnel (azok árnyalataival) jelennek meg. A Semblance-együtthatók estén piros

árnyalatok jelzik a magasabb, a kékek pedig az alacsonyabb értékeket, azaz a dőlésszámítás megbízhatóságát.



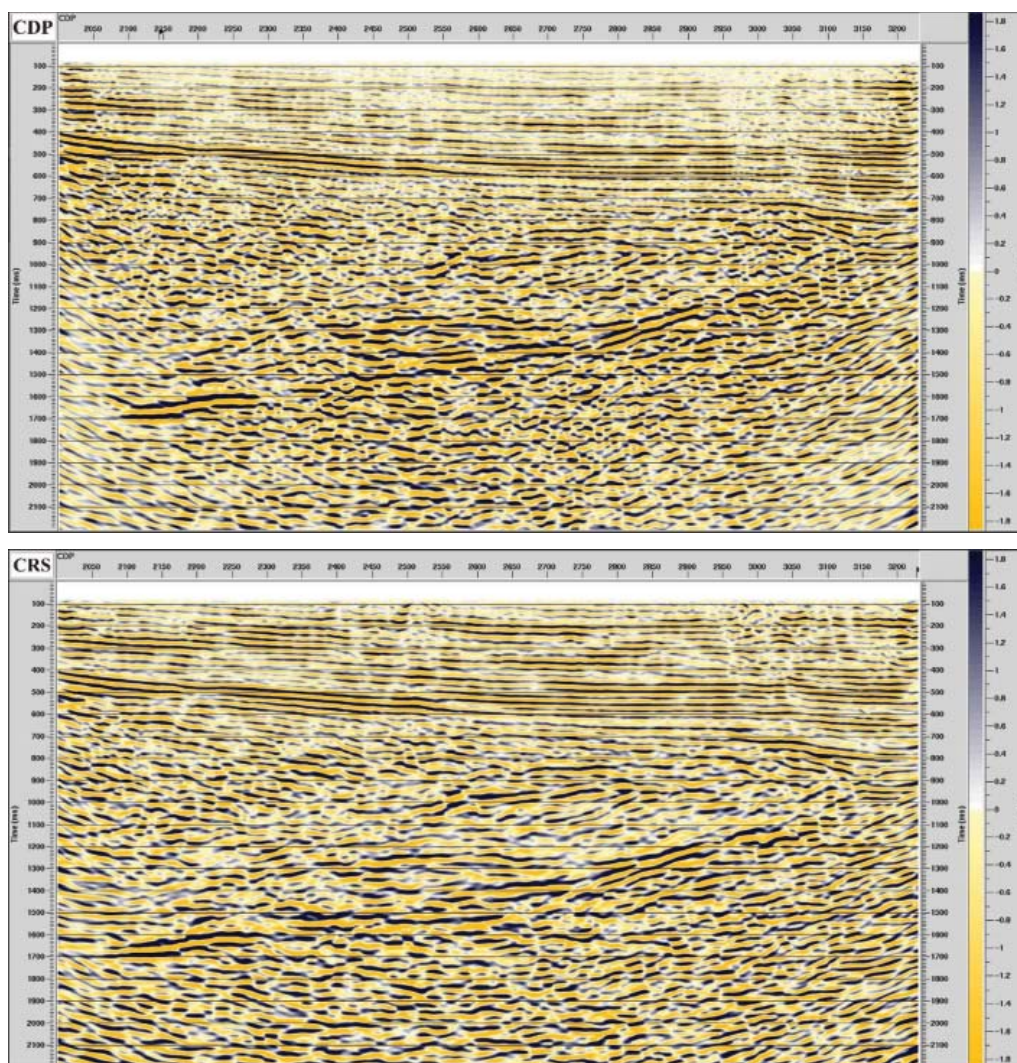
5. ábra | A modellszelvényre számított CRS-attribútumok; a) dőlés értékek, b) Semblance-együtthatók (a színskálákat a szövegben magyarázzuk)
Figure 5 | CRS attributes calculated on the pilot section; a) dip, b) Semblance-coefficients (color scales are explained in the text)

4. táblázat | A Fresnel-zóna sugara és a CRS-összegzési operátor mérete a mélység függvényében
Table 4ga | Radius of the Fresnel-zone and the size of CRS stacking operator versus depth

Idő [ms]	Mélység [m]	Sebesség [m/s]	Frekvencia [Hz]	Fresnel-zóna sugara [m]	CRS operátor mérete [m]
0	0	1800	–	–	75
300	307	2045	32	99	95
950	1140	2400	26	229	130
1800	2565	2850	19	439	170
3000	5198	3465	12	866	225

A dőlésszámítást (*CRS Z₀ Search*) célszerű a ProMAX modulban paraméterezhető értékek szisztematikus változtatásával végrehajtani mindaddig, amíg elfogadhatóan magas Semblance-együtthatókat kapunk. Megjegyezzük, hogy az ábrán bemutatott attribútumok önmagukban is hasznos (nem szokványos) előzetes betekintést nyújtanak a szelvény mentén harántolt földtani formációk szerkezetébe.

A korábban említett másik kritikus paramétert, azaz a CRS-összegzési operátor optimális méretét (3. lépés a fenti táblázatban) számos teszt elvégzésével kaptuk meg. Ez a paraméter határozza meg, hogy különböző mélységekben milyen távolságon belül történik az összegzés. A Fresnel-zóna sugarából (horizontális felbontóképesség) célszerű kiindulni, amely a mélységtől, az aktuális sebességtől és a frekvenciától függ. A CRS operátorok méretét minden



6. ábra | A végleges migrált CDP- és CRS-szelvények összehasonlítása (a kétféle adatfeldolgozás lépéseit a 2. és 3. táblázatban részleteztük)
Figure 6 | Comparison of the final migrated CDP and CRS stacks (steps of the two kinds of data processing are specified in Table 2 and 3)

mélységben kisebbre választottuk, mint a Fresnel-zóna sugara, elkerülve ezzel a túlzott keverési hatást a CRS szerinti összegzés során (4. táblázat).

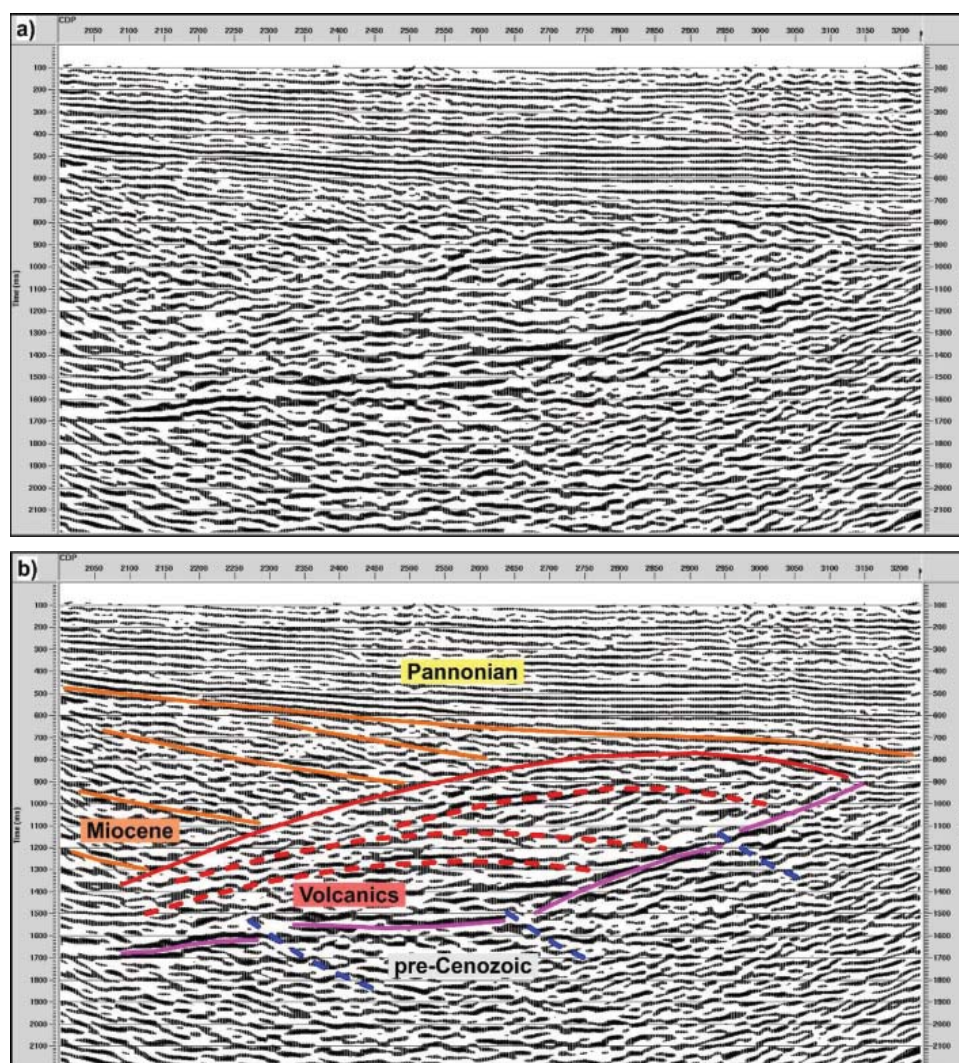
A hagyományos CDP szerinti és az újszerű CRS-eljárás eredményeként kapott végleges migrált összecszelvények a 6. ábrán hasonlíthatók össze.

Földtani-szerkezeti értelmezés

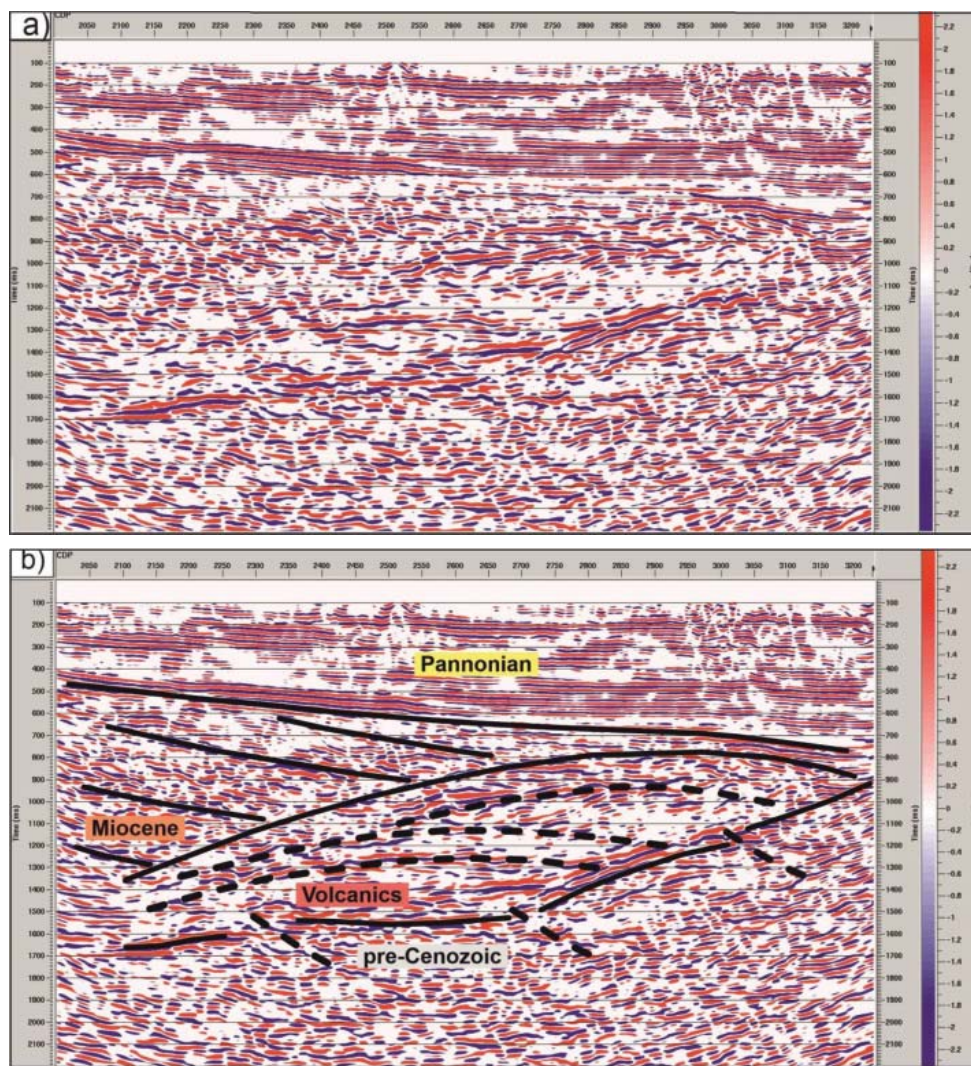
Az új összegzési eljárás lehetővé tette a miocén korú üledékek és egy feltételezhetően vulkáni eredetű képződmény közötti diszkordanciafelület kijelölését, valamint biztosította a vulkáni formáció belső szerkezetének elemzését. Ezenkívül a prekainozoos aljzat felszíne is jobban követhetővé vált ahhoz képest, mint az a hagyományos CDP-szelvényen korábban megfigyelhető volt.

A 7. ábrán a migrált CRS-időszelvény földtani értelmezését közöljük fekete-fehér megjelenítésű szelvényen. Jelöltük a pannon korú üledékek fekvését, a miocén korú képződményeken belül az üledékes és feltételezhetően vulkáni eredetű képződmények határát, valamint a feltételezett vulkáni formáció lehetséges belső szerkezetét. Utóbbi a vizsgált területtől észak-keletre elhelyezkedő egykori ciklikus vulkáni működéssel lehet összefüggésben (lávafolyások és törmelékszórások). A tanulmány tárgyát képező CRS szerinti összegzés eredményeként sikerült néhány prekainozoos, a szelvény síkjában alacsony dőlésű, valószínűsíthetően feltolódásos vetőt is bejelölni. Ezek a hagyományos CDP szerint összegzett szelvényen nem voltak szembetűnőek. Hangsúlyozzuk, hogy a kutatási területen mélyfúrási adatok nem álltak rendelkezésre.

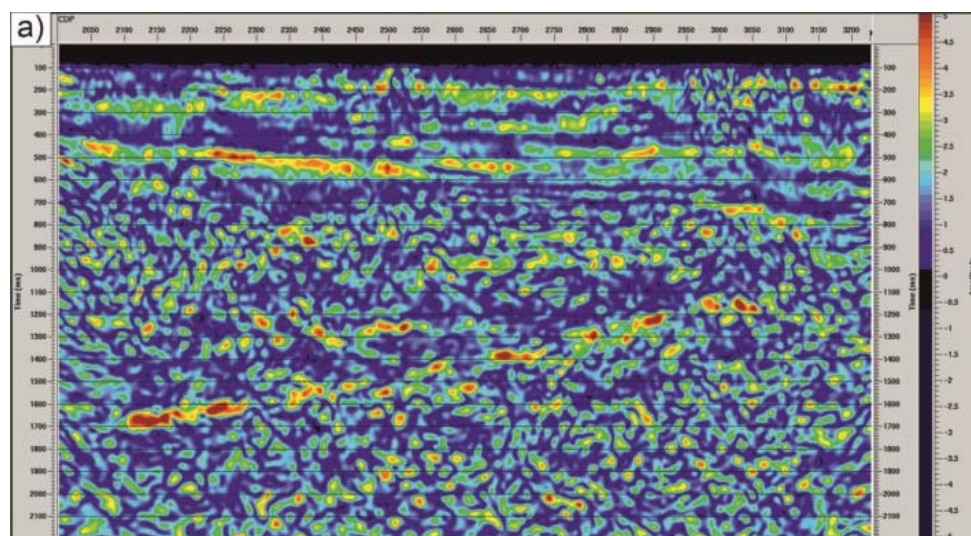
A 8–11. ábrákon a migrált CRS-időszelvény néhány olyan jellemző szeizmikus képét mutatjuk be színes megjelenítéssel, amelyek elősegítették a földtani-szerkezeti értelmezést. A „dB” szelvény decibel skálával jeleníti meg az amplitúdókat és az 1 dB-nél kisebb értékeket nullával helyettesíti (ezáltal eltávolítja a maradék véletlen zajokat). A „reflexióerősség” attribútum segítette a különböző reflektivitású zónák és blokkok elkülönítését. A „pillanat-



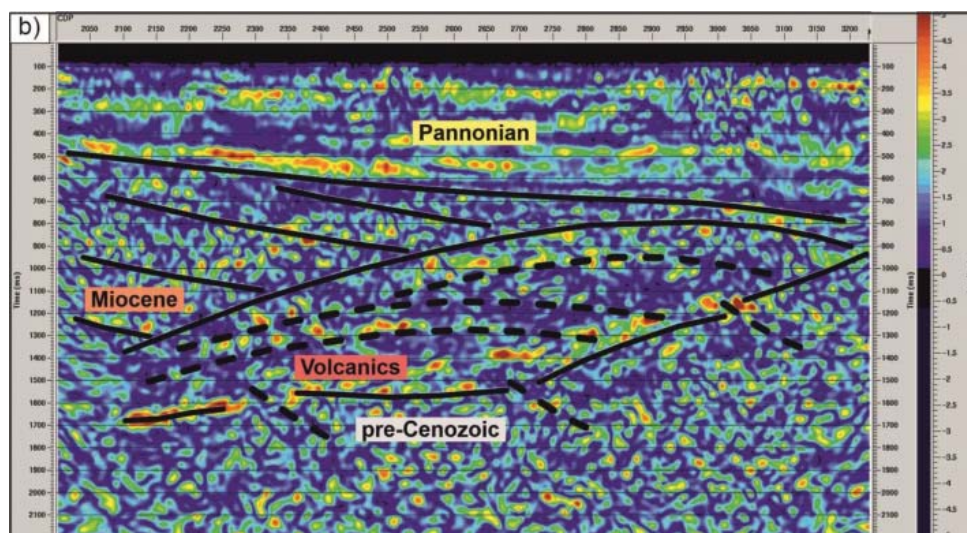
7. ábra | Földtani-szerkezeti értelmezés a fekete-fehér megjelenítésű migrált CRS-szelvényen; a) értelmezetlen változat, b) értelmezett változat
Figure 7 | Geological-structural interpretation on the migrated CRS stack (black & white representation); a) uninterpreted version, b) interpreted version



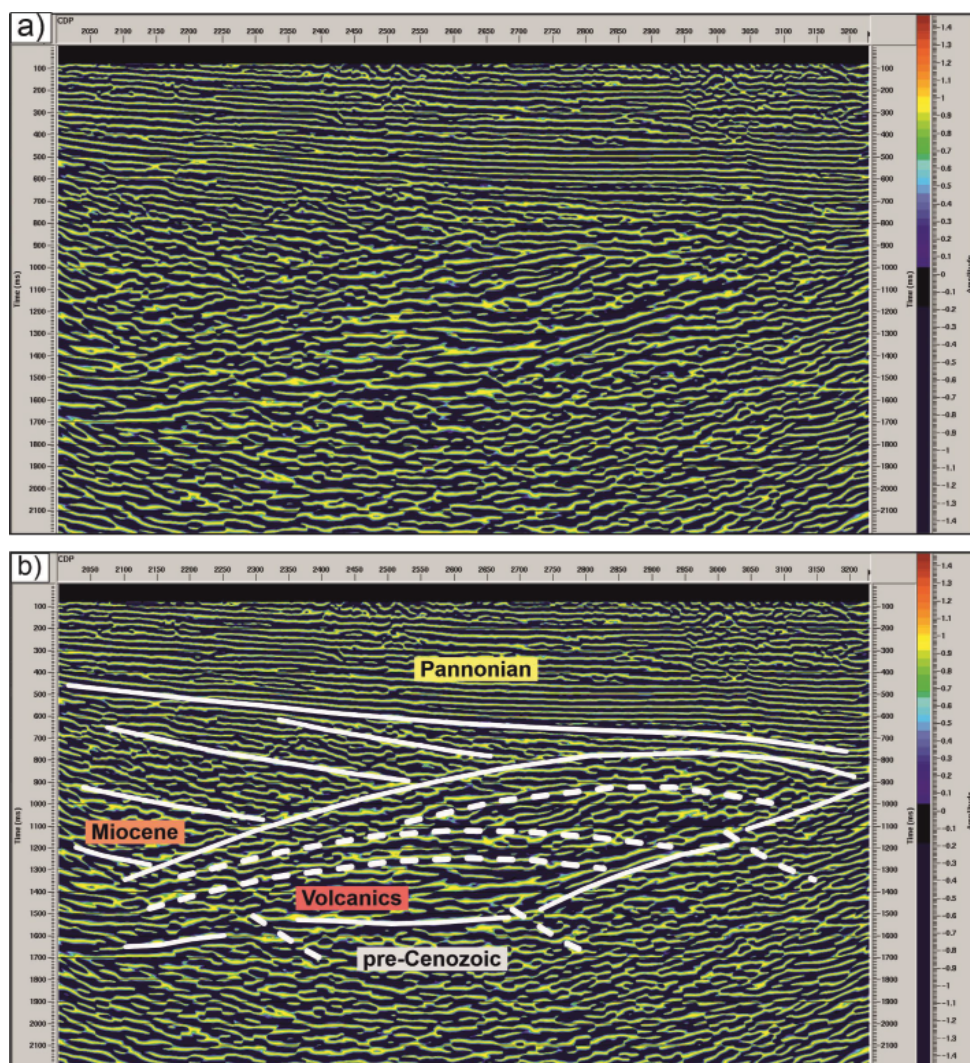
8. ábra Decibel (dB) szelvény (migrált CRS-összecszenvény); a) értelmezetlen változat, b) értelmezett változat
Figure 8 Decibel (dB) section (migrated CRS stack); a) uninterpreted version, b) interpreted version



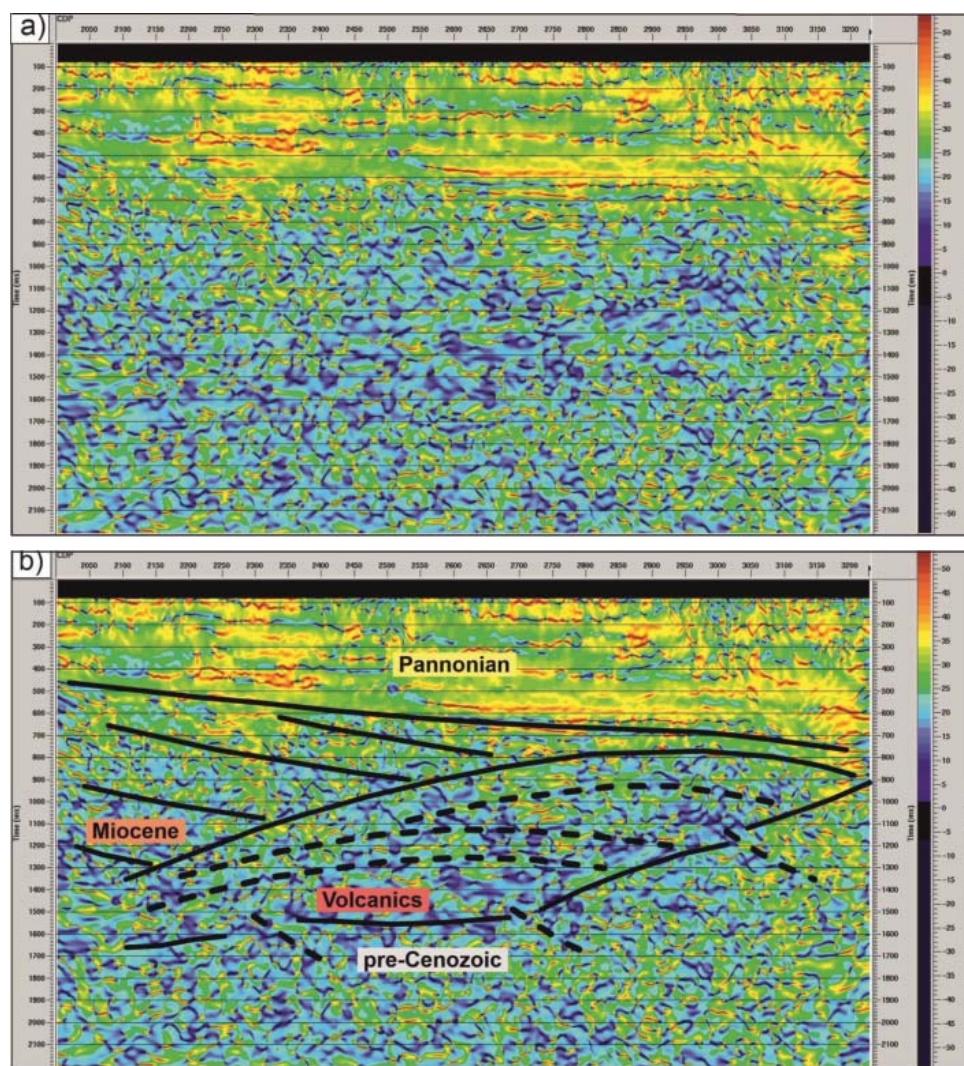
9a. ábra Reflexióerősség-attribútum szelvény (migrált CRS-összecszenvény); a) értelmezetlen változat
Figure 9a Reflection strength attribute section (migrated CRS stack); a) uninterpreted version



9b. ábra | Reflexióerősség-attribútum szelvény (migrált CRS-összezszevény); b) értelmezett változat
 Figure 9b | Reflection strength attribute section (migrated CRS stack); b) interpreted version



10. ábra | Pillanatnyifázis-attribútum szelvény (migrált CRS-összezszevény); a) értelmezetlen változat, b) értelmezett változat
 Figure 10 | Instantaneous phase attribute section (migrated CRS stack); a) uninterpreted version, b) interpreted version



11. ábra | Pillanatnyifrekvencia-attribútum szelvény (migrált CRS-szelvény); a) értelmezetlen változat, b) értelmezett változat

Figure 11 | Apparent frequency attribute section (migrated CRS stack); a) uninterpreted version, b) interpreted version

nyi fázis” attribútum, mivel független a reflexiós energiától, lehetővé tette az alacsony reflektivitású horizontok követését és a feltételezett vulkáni objektum belső szerkezetének tagolását. Végezetül a „pillanatnyi frekvencia” attribútum megkönnyítette a szelvény különböző frekvenciájú zónáinak megjelenítését. A fenti attribútumok alapján megállapítható, hogy a feltételezett vulkáni képződmény belseje helyenként magas reflektivitású beérkezőestöredékekkel és általában véve alacsony frekvenciás képpel jellemezhető. Fontos megjegyezni, hogy a fenti szelvényváltozatokon értelmezett vulkanit jelenlétét, a hullámkép sajátosságain kívül, a *reflexióssebesség-analízis során kapott magas értékek* is megerősítik.

Következtetések

A cikkben közölt eredmények a TOK-1 jelű reflexiós szelvény példáján keresztül bemutatják a 90-es évek végén kidolgozott CRS-összegzési eljárás alkalmazásának előnyeit

egy hazai kutatási területen. Az újszerű algoritmus egyrészt kezelni tudja a dőlt reflektorokat, másrészt pedig a dolgozatban részletezett feltételek mellett több szeizmikus csatornát összegez, mint a hagyományos CDP-módszer, és így növeli a szelvény jel/zaj viszonyát (Jäger 1999, Yilmaz 1999, Jäger et al. 2001, Menyoli et al. 2004). Mindezek eredményeként jobb minőségű reflexiós képeket nyerünk olyan összetett földtani szerkezetek esetén, mint például a jelen tanulmányban tárgyalt Tokaj-hegység előterében, vagy akár a nyírségi vulkanitok és a Nyugat-Mecsek területén végzett korábbi vizsgálataink során is (Takács et al. 2016, 2018).

A CRS szerinti összegzés a megnövelt jel/zaj viszony által koherensebb, azonban simítottabb (kevertőbb) képet eredményez, mint a hagyományos CDP szerinti eljárás. Néhány finomabb részlet elveszíthetünk a szeizmikus szelvényen (például kis elvetési magasságú vetők), azonban segít leképezni olyan földtani formációk és szerkezetek képét, amelyek felismerése bizonytalanabb a hagyományos CDP-eljárás alkalmazásával. Az adatfeldolgozás meg-

kezdése előtt célszerű tisztázni a kutatási feladat elsődleges célját, illetve mélységtartományát. Ezek ismeretében a mélységfüggő CRS-összegzési operátorok mérete alapos paraméter tesztek segítségével optimálisan megtervezhető.

Megjegyezzük, hogy a dolgozatban bemutatott egyetlen 2D reflexiós szelvény eredményei alapján nyilvánvalóan nem lehet messzemenő következtetéseket levonni a kutatási terület geotermikus potenciáljára vonatkozóan. Az új eredmények azonban azt mutatják, hogy a vizsgált terület további kutatásokra érdemes. A TOK-1 és TOK-2 szelvények adatainak CRS-feldolgozása együttes eredményei egy korábbi MSc-szakdolgozatban áttekinthetők (Kiss 2021).

Köszönetnyilvánítás

A szerzők ezúton fejezik ki köszönetüket a Magyar Bányászati és Földtani Szolgáltatnak a kísérleti adatfeldolgozás elvégzésének lehetővé tételéért egy MSc diplomadolgozat megvalósításának keretében. Köszönet illeti Gombár Lászlót, Hegedűs Endrét és Ormos Tamást a tanulmány lektorálása során tett segítőkész és hasznos javaslataikért.

A tanulmány szerzői

Kiss Viktória, Takács Ernő

Hivatkozások

- Bauer M., Bereczki L., Héja G., Kiss J., Takács E. (2020): Kutatási jelentés a Tokaj térségében végzett geotermikus rezer voárok felderítését célzó szeizmikus földtani kutatásról. MBFSZ kutatási jelentés, Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, Budapest, 76 p.
- Höcht, G., de Bazelaire, E., Majer, P., Hubral, P. (1999): Seismic and optics: hyperbolae and curvatures. *Journal of Applied Geophysics*, 42, 261–281.
- Hubral, P. (1983): Computing true amplitude reflections in a laterally inhomogeneous earth. *Geophysics*, 48, 1051–1062.
- Hubral, P. (1999): Preface. *Journal of Applied Geophysics*, 42, 137–138.
- Hubral, P. and Krey, T. (1980): Interval velocities from seismic reflection traveltimes measurements. *Society of Exploration Geophysicists*.
- Jäger, R. (1999): The Common Reflection Surface Stack – Introduction and Application. MSc thesis, Karlsruhe Institute of Technology.
- Jäger, R., Mann, J., Höcht, G., Hubral, P. (2001): Common-reflection-surface stack: image and attributes. *Geophysics*, 66, 97–109.
- Kiss V. (2021): Application of Common Reflection Surface (CRS) stacking in a study area of northeast Hungary. MSc thesis, Department of Geophysics, University of Miskolc, p. 51.
- Landa, E., Gurevich, B., Keydar, S., Trachtman, P. (1999): Application of multifocusing method for subsurface imaging. *Journal of Applied Geophysics*, 42, 283–300.
- Landmark Graphics Corporation (2001): ProMAX 2D, A Reference Guide for the ProMAX Geophysical Processing Software.
- Mandal, B., Sen, M.K., Vaidya, V.R., Mann, J. (2014): Deep seismic image enhancement with the common reflection surface (CRS) stack method: evidence from the Aravalli–Delhi fold belt of northwestern India. *Geophysical Journal International*, 196, 902–917.
- Mann, J., Jäger, R., Müller, T., Höcht, G., Hubral, P. (1999): Common-reflection-surface stack – a real data example. *Journal of Applied Geophysics*, 42, 301–318.
- Menyoli, E. (2002): Structural imaging in complex geological area: Integrating model-dependent and model-independent imaging. PhD Thesis, Part II, University of Hamburg, Germany.
- Menyoli, E., Gajewski, D., Hübscher, C. (2004): Imaging of complex basin structures with the common reflection surface (CRS) stack method. *Geophysical Journal International*, 157, 1206–1216.
- Takács E. (szerk.) et al. (2016): Szeizmikus módszertani fejlesztések. MFGI kutatási jelentés, Magyar Földtani és Geofizikai Intézet és Földtani Szolgálat, Budapest, 28 p.
- Takács E. (szerk.) et al. (2018): Közös reflexiós felületen (CRS) alapuló összegzés, mélység migráció, valamint mélységtartománybeli előzetes értelmezés a Me–105 és Me–106 szeizmikus szelvények mentén. Kutatási jelentés a Mecsekérc Zrt. megbízásából, Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, Budapest, 30 p.
- Yilmaz, Ö. (1999): When reflections are not hyperbolas and reflectors are not points. *Journal of Applied Geophysics*, 42, 139–141.