

# Egy sekélyrefrakciós szelvény utóélete<sup>1</sup>

POLCZ IVÁN<sup>2</sup>

Derecke PALMER 1990. és 1991. évi publikációiban tette közzé kelet-ausztráliai területen mért refrakciós időadatokból GRM-eljárással szerkesztett töbör jellegű kétréteges mélységshelvényét. A következő évben (1992) PALMER mélységadataiból kiindulva R. J. WHITELEY szintetikus első beérkezéseket számított és azokat a terepi beérkezési adatokkal hasonlította össze. Az eltérések alapján arra a megállapításra jutott, hogy a PALMER-féle értelmezés hibás. PALMER válaszában ezt visszautasította azzal az indokolással, hogy a modellezéshez felhasznált módszerek bizonytalanok és a kiindulási modellt is torzíthatják. Később a GRM módszerrel kapcsolatos rövid tanulmányában B. SJÖGREN hagyományos és a HALES-módszerrel részletes sebességvizsgálatot végezve mutatta be a töbörshelvény újabb változatát. A szemmel követhető interaktív sugárútszerkesztés érdekes példajaként a töbörshelvény legújabb változatát WHITELEY az EAEG 64. Konferenciáján mutatta be.

## I. POLCZ: Follow-up of a seismic shallow refraction section

In the years of 1990 and 1991 Derecke PALMER published the result of a seismic refraction measurement carried out over a shallow sinkhole in Eastern Australia. The sufficiently complex refraction travel time curves were interpreted by Generalized Reciprocal Method (GRM) and the interpretation resulted in a two layered depth model. One year later R. J. WHITELEY computed synthetic seismic first arrival data from PALMER's depth section and compared them with the original field ones. As a conclusion he pointed out some errors inherent in the GRM. In his reply PALMER categorically rejected that and claimed that model-based synthetic refraction data are ambiguous and modeling methods can introduce artifacts into the starting model. Some years later in a brief study on GRM B. SJÖGREN presented a new inversion of the collapsed sinkhole model and performed detailed velocity analysis by conventional and HALES' method. That sinkhole model was used again by WHITELEY in the 64th EAGE Conference to demonstrate a visual interactive ray tracing interpretation method over complex formations.

Szeizmikus tárgyú közleményeket böngészve úgy tűnik, hogy nemcsak a könyveknek, amint azt a latin közmondás<sup>3</sup> idézi, hanem a geofizikai, esetünkben a szeizmikus shelvényeknek is van utóélete. Egy ilyen érdekes esetet mutatunk be a publikációk tükrében.

1990-ben az *Exploration Geophysics* ausztráliai folyóiratban Derecke PALMER<sup>4</sup> publikációjában az általa kidolgozott GRM módszert (Generalized Reciprocal Method) és alkalmazását alátámasztó kutatási példákat mutatott be [PALMER 1990]. Ebben első helyen szerepel az a kelet-ausztráliai területen mért sekélyrefrakciós shelvény, amely egy felszín közeli karsztos mélyedést (collapsed sinkhole, doline) harántol. A szóban forgó mélységshelvényre „töbörshelvény” néven hivatkozunk a továbbiakban. A shelvényben feltáruló szerkezethez megfelelő hazai földtani hasonlatot keresve tipikus bauxittöbröt említhetünk, amelyet az 1. ábra mutat be [CSÁSZÁR 2005, ebben VADÁSZ ábrája 1946]. Emberi vagy természet alkotta töbrök, karsztüreges, dolinák, víznyelők kialakulásával és geofizikai kutatásával kapcsolatban T. L. DOBECKI [2006] fogalomtisztázó érdekes publikációja érdemel említést.

A töbörshelvény mérését 48 csatornás SERCEL SN338HR típusú adatgyűjtő műszerrel végezték 1 ms mintavétellel, a szeizmométer köz 2,5 m, a robbantási pontoké 30 m volt. A terepi mérés alapján készült menetidőgörbe rendszert a

2. ábrán, a GRM-eljárással szerkesztett mélységshelvényt a 3. ábrán látjuk.

A refrakciós adatok kiértékelését GRM módszerrel végezték, és ehhez az optimális XY paraméter méretét 5 m-ben határozták meg. A számítások szerint a refraktáló szint sebessége 2750–2200 m/s, a fedőösszleté 600 m/s. A szerző felhívta a figyelmet, hogy a 39–46., továbbá a 47–54. felszíni pontok környezetében a szerkesztő körívek a refraktoron azonos pontban (39. és 53.) metszik egymást, és a jelenség szerinte a töbörshelvény széleiről kiinduló diffrakciókra utal. A terület földtani viszonyairól csak az ismert, hogy szilur metaszedimentek alkotják a fedőréteget, és a shelvény 47. számú pontja közelében lemélyített fúrás 50 m vastag, üreges homokkő összletet harántolt. A továbbiak során látni fogjuk, hogy ez a töbörshelvény 1990-től a publikációk során újra és újra előkerül, és úgy tűnik, hogy még mindig nem „lerágott csont”.

Nem az idézett publikáció az egyetlen, amelyben PALMER saját módszerét bemutatja. A GRM-ről a legelső közlés könyv formájában már 1980-ban napvilágot látott a Society of Exploration Geophysicists kiadásában [PALMER 1980]. A 104 oldalas könyvben a GRM leírásán kívül egyszerű modelldiagramokat és terepi esettanulmányokat is talál az olvasó.

1981 és 1989 között a *Geophysics* folyóiratban is több elismerő cikk jelent meg a GRM-ről [pl. PALMER 1981 és LANKSTON 1989]<sup>5</sup>, sőt 1986-ban újabb szakkönyvben találkozzunk a módszer részletes bemutatásával *Refraction seismics; the lateral resolution of structure and seismic velocity*

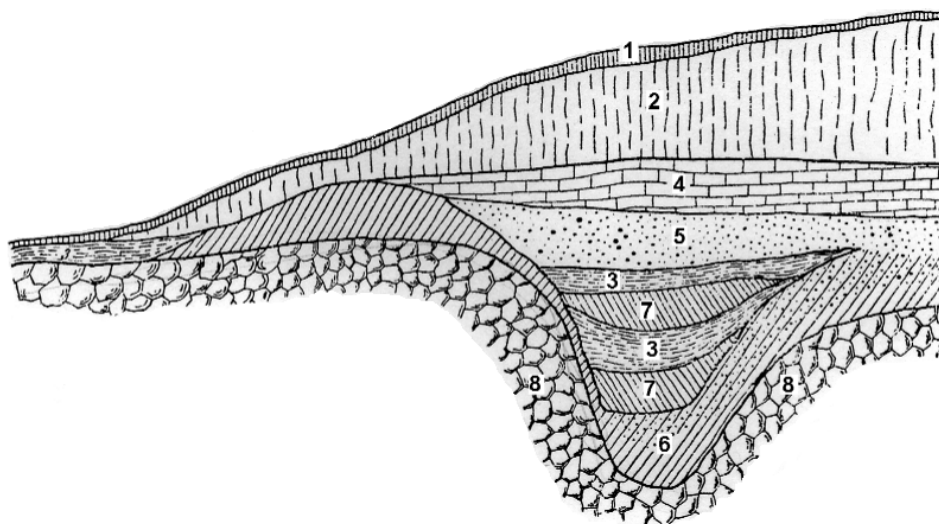
<sup>1</sup> Beérkezett: 2009. szeptember 28.

<sup>2</sup> Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, 1145, Budapest, Kolumbusz u. 17–23., E-mail: ipolcz@t-online.hu

<sup>3</sup> Habent sua fata libelli

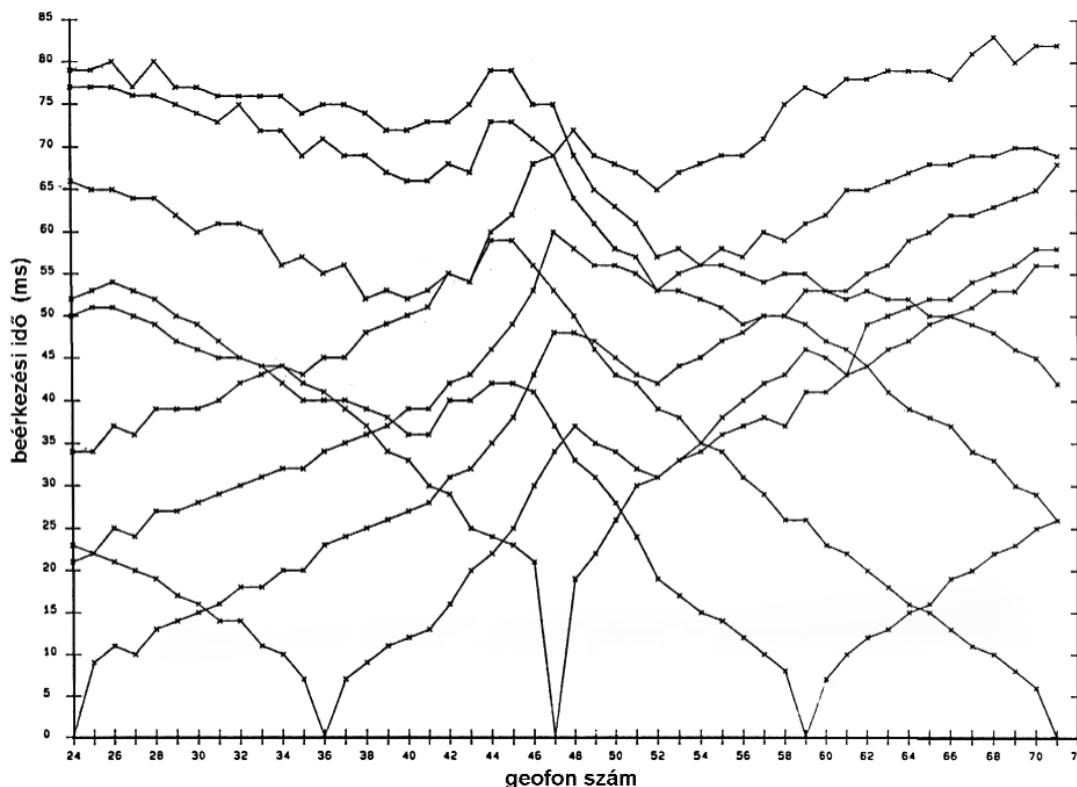
<sup>4</sup> Dept. of Mineral Resources, Minerals and Energie House, St. Leonards, Australia

<sup>5</sup> A GRM módszer sikeres alkalmazásáról megjelent pozitív vélemények részletes felsorolása megtalálható a *Magyar Geofizika* 34. évfolyamának 3. számában [POLCZ 1993]



1. ábra. Alsóperei bauxittöbör földtani metszete Vadász E. [1946] nyomán. Jelmagyarázat: 1–2: holocén, 1: talaj, 2: lejtőtörmelék, 3–7: középső-kréta, 4: Tési agyagmárga, 5–7: bauxit, 8: alapkőzet (dachsteini mészkőformáció)

Fig. 1. Cross section of a bauxite sinkhole of Alsópere after Vadász [1946]. Legends: 1–2: Holocene, 1: soil, 2: talus, 3–7: Middle Cretaceous, 4: clay (Tés formation), 5–7: bauxite, 8: basement



2. ábra. A töbörszelvény menetidőgörbe rendszere

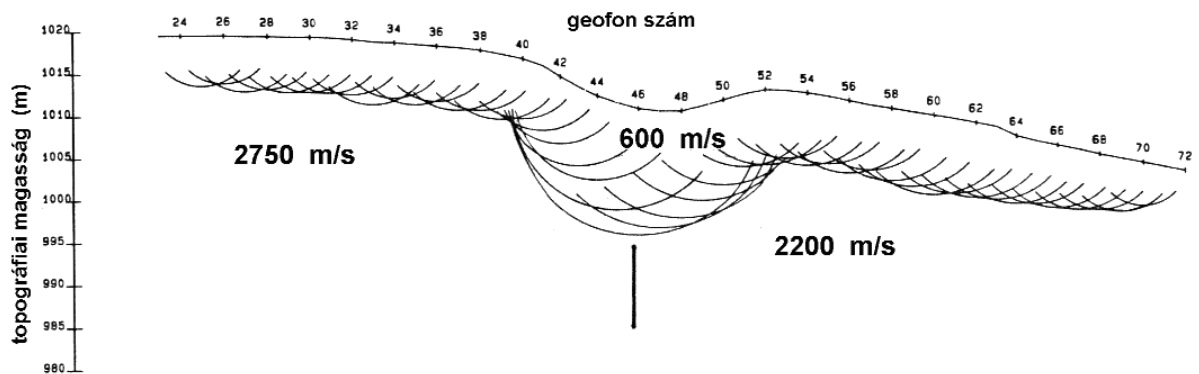
Fig. 2. Travel time curves recorded over the sinkhole (collapsed doline)

címmel a Geophysical Press kiadásában [PALMER 1986]. A módszer ismertetésén kívül az ismert refrakciós kiértékelő eljárások összefoglalását is áttekinti, közöttük F. W. HALES<sup>6</sup> angol geofizikusét is. A 270 oldal terjedelmű könyvben sze-

<sup>6</sup> HALES módszerét részletesen a *Magyar Geofizika* korábbi számában ismertettük [POLCZ 2006]

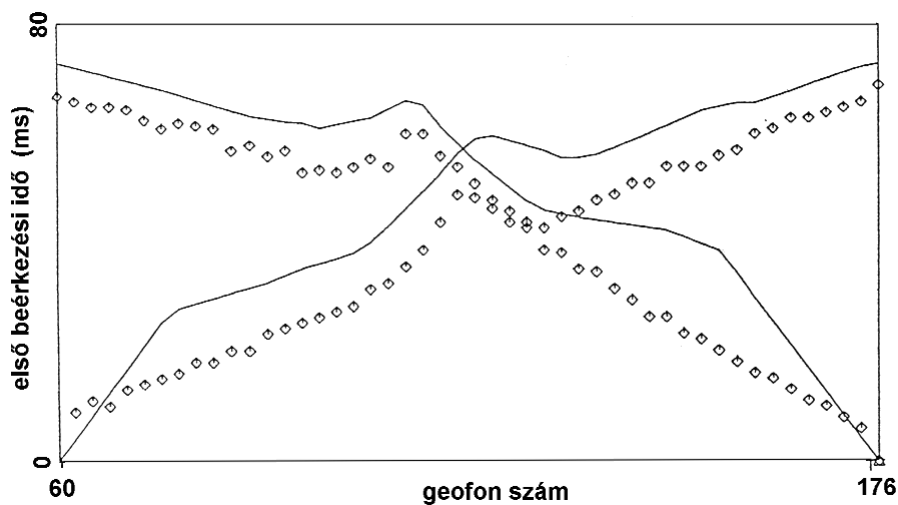
replő modellpéldák túlságosan egyszerűek, egyetlen többrétegű modell sem szerepel közöttük, és sajnálatos a terepi kutatási példák teljes hiánya.

Újabb PALMER-dolgozat [PALMER 1991] látott napvilágot 1991-ben a *Geophysical Prospecting* folyóiratban „The resolution of narrow low-velocity zones with the generalized reciprocal method” címmel. Ez a dolgozat a GRM sokadik



3. ábra. Mélységszelvény PALMER GRM módszerével szerkesztve

Fig. 3. Depth section interpreted by PALMER's GRM



4. ábra. Terepi és szintetikus első beérkezési idők összehasonlítása a PALMER-féle szerkesztés adataival

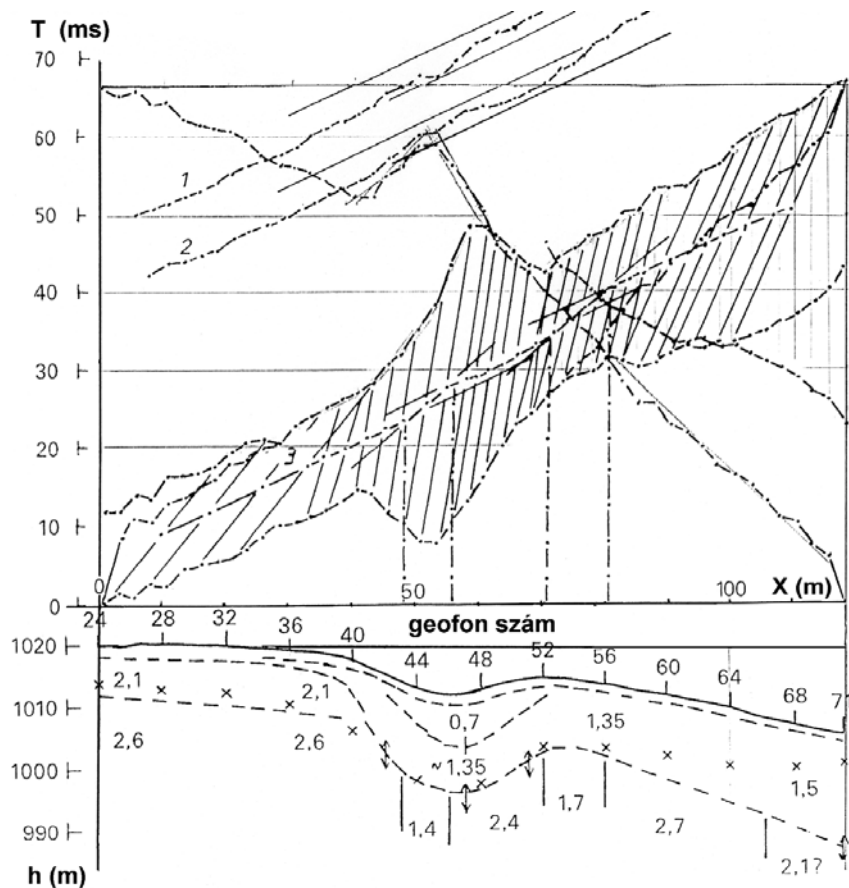
Fig. 4. Comparison of field and synthetic first arrival travel times with PALMER's interpreted depth section

ismertetésén kívül példákat mutat be a nagy sebességű refraktáló felület mentén bekövetkező sebességváltozások kimutatására. A modellpéldák után két terepi esettanulmány is találkozunk, melyek közül az első a vizsgáldásunk tárgyát képező töbørszelvény. A másik esettanulmány a vetős szerkezet, amely már szerepelt korábban az 1990. évi dolgozatban is. Kisebbs jelentősége miatt most sem térünk ki rá. A töbørszelvényre vonatkozó, már fentebb bemutatott menetidőgörbe rendszerrel és mélységszelvényt itt újból találkozunk. A szelvény szerkezeti jellemzői azonosak a már bemutatottal (3. ábra). PALMER szerint a refraktáló aljzatban nincs számottevően alacsony sebességű zóna. Ismételten hangsúlyozza a fentebb már megfogalmazott (de nem bizonyított) véleményt, miszerint a GRM a diffrakciós beérkezéseket is megfelelően kezeli.

Egy évvel később 1992-ben a *Geophysical Prospecting*-ben megjelenik R. J. WHITELEY<sup>7</sup> – ugyancsak ausztráliai szerző – éles bírálata PALMER dolgozatával szemben [WHITELEY 1992]. Kizárólag a töbørszelvény (publikációjában ez a 2. ábra) szerkesztési hibáival foglalkozik. PALMER szerkezeti adataiból kiindulva a 24. és 71. jelű robbantási pontok-

ból számítógépes sugárszerkesztő programmal kiszámította az első beérkezések időértékeit és megszerkesztette a menetidőgörbe-ágakat (itt ez a 4. ábra, eredetileg a *Geophysical Prospecting* folyóirathoz méltatlan minőségű „skicc”). A számított menetidőadatokat összehasonlítás céljából WHITELEY táblázatban is feltüntette PALMER eredeti adatai mellett. A 4. ábrán látható a terepi mérésből (kis négyzetek) és a számítógépes sugárútszerkesztéssel (folyamatos vonal) létrehozott görbék közötti eltérés. WHITELEY véleménye szerint PALMER szerkesztési adatai és a számítógépes rekonstrukció között van ugyan hasonlóság a szelvény bal oldalán, de az időbeli eltolódások miatt ez megtévesztő. Véleménye szerint: „The entire interpreted section is in serious error...”. WHITELEY sebességszámításai szerint a szerkezet bal oldalán a fedőszelvény és a refraktor között 2,0 km/s, jobb oldalán 1,6 km/s sebességű közbülső réteg is létezik, de ezeket a PALMER-féle értelmezés nem érzékeli. Szerinte a GRM módszer refrakciós kiértékelés céljára *alapvetően fogyatékos* (fundamentally flawed). Kijelenti, hogy PALMER korábbi dolgozataiban közzétett szelvénytérképei és értelmezései [pl. PALMER 1980] is hiányosak, a GRM módszer ellentmondásos, túlságosan leegyszerűsíti a földtani képet, és előfordulhat, hogy hibás geotechnikai eredményei jogi

<sup>7</sup> Coffey Partners Int. Pty Ltd., New South Wales



5. ábra. SJÖGREN sebességmeghatározása a nagy sebességű aljzatra és az általa szerkesztett mélységszelvény. Az „x” jelek a PALMER-féle mélységet jelzik

Fig. 5. Velocity analysis over the main refractor and interpreted seismic depth section by SJÖGREN. PALMER's depths are marked by 'x'

következményeket is vonhatnak maguk után. Lényegében WHITELEY a GRM módszert teljes egészében kategorikusan elveti.

Természetesen PALMER a *Geophysical Prospecting* ugyanazon számában WHITELEY bírálatának minden pontját visszautasította [PALMER, 1992]. Főbb érvei:

- Jóllehet a számítógépes sugárútszerkesztés korrekt eljárás látszatát kelti, a beérkezési idők összehasonlítására mégsem alkalmas eszköz.
- HAGEDOORN megállapítására hivatkozva rámutat, hogy adott menetidőgörbe adatsora több egymástól különböző mélységi modellt is képviselhet [HAGEDOORN 1955].
- A sugárútszerkesztéshez WHITELEY nem a megfelelő menetidőgörbe-ágakat választotta,
- Kifogásolja, hogy korábbi publikációinak például WHITELEY meg nem nevezett módszerrel újraértelmezte, és arra a következtetésre jutott, hogy a GRM módszer nem alkalmas refrakciós mérési adatok értelmezésére.

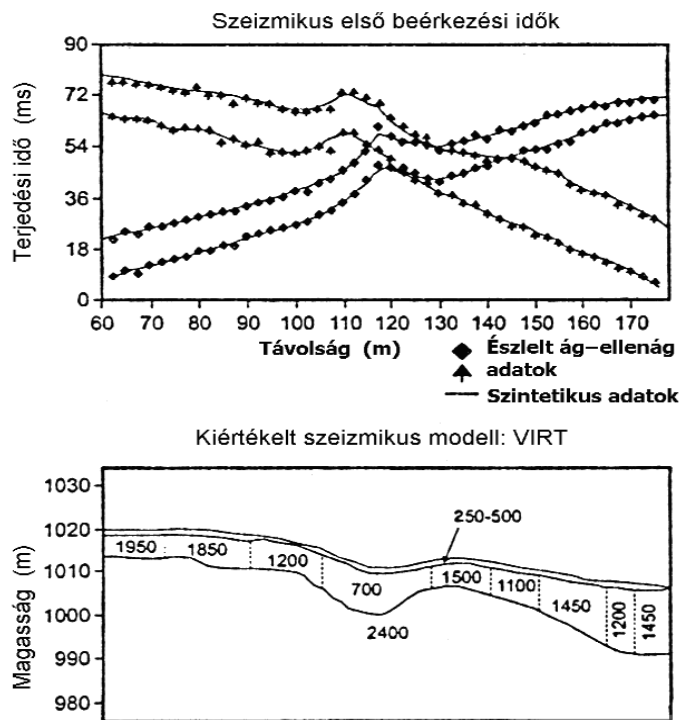
Nyolc év szünet után, 2000-ben a *Geophysical Prospecting* közölte Bengt SJÖGREN [2000]<sup>8</sup> szakszerű és részrehajlásmentes dolgozatát, melyben PALMER 1991. évi közleményére reagált [PALMER 1991]. SJÖGREN nem foglalkozott a „WHITELEY kontra PALMER” nézetkülönbséggel, sem a GRM módszer elméleti és matematikai vonatkozásaival, ki-

zárólag gyakorlati alkalmazhatóságát vizsgálta nagyon korrekt módon [Polcz 2001]. A kiértékelést és szerkesztést ismert refrakciós eljárásokkal végezte. PALMER modellpéldáin kívül még két terepi esettanulmányával is foglalkozott, ezek között első a szóban forgó többszélvény. Erre vonatkozó véleményét az alábbiakban ismertetjük.

A menetidőgörbe rendszer alapján három réteget különböztet meg, egy következőt pedig feltételez. A legfelső rétegre vonatkozóan 350 és 600 m/s sebességet állapított meg. A második réteg sebességére a szerkezet bal oldalán 2100 m/s, a jobb oldalon 1500 m/s értéket számított. A besüppedt területen belül és annak közelében a sebesség alacsonyabb (1350 m/s) az útidőgörbékén végzett m-m-T<sup>9</sup> számítás szerint. A harmadik réteget nagy sebességű refrakciós aljzatnak minősíti, amelyről származó menetidőadatok mindkét irányban teljes szelvényhosszban követhetők. A refraktáló felületre vonatkozó sebességszámítást HALES [1958] módszerével végezte. Az 5. ábra felső részén látható a találkozó menetidőgörbékéből előállított 24. és a 71. pontoknál záródó HALES-féle „időhurok”. A szelvény elején az XY távolságok nagysága 18–22 m, a süllyedék jobb oldalán 13–17 m. A középső részen, a süllyedék fölött XY 4,0 és 7,5 m közötti. SJÖGREN részletes mélységszelvény-szerkesztése szintén az 5. ábrán látható.

<sup>8</sup> Bengt SJÖGREN svéd geofizikus (1925–2001)

<sup>9</sup> m-m-T (mean-minus-T) sebességmeghatározó módszer [SJÖGREN 1984, p. 141]



6. ábra. Terepi és szintetikus beérkezési idők összehasonlítása és mélységszelvény VIRT módszerrel

Fig. 6. Comparison of field and synthetic arrival times with VIRT method and interpreted seismic model

PALMER szerint a süllyedék területén nincs alacsony sebességű zóna (illetve ha mégis, az nagyon keskeny). Ezzel szemben SJÖGREN saját munkáiban a nagyon gyakran sikeresen alkalmazott HALES-módszerrel két kis sebességű zóna jelenlétét is ki tudta mutatni (1. az 1400 és 1700 m/s sebességeket az aljzatban).

SJÖGREN összegző véleménye szerint a PALMER-féle feldolgozásban hibák fordulnak elő, mert a szelvény egy részén téves beérkezési adatokat használt a refrakciós aljzat mélységének és sebességének megállapításához. Alapvető hibája, hogy az optimálisnak tartott  $XY$  értékekkel számolt, tekintet nélkül a területen belüli lényeges földtani változásokra.

Bírálatának összefoglalásában SJÖGREN PALMERnek több korábbi publikációjában kifejtett nézetére is válaszolt. Nevezetesen az 1986-ban megjelent könyve 146. oldalán leírtakra, miszerint: „The (refraction) problem can be viewed as one of accommodating, instead of detecting all layers”, azaz bővebben kifejtve: a refrakciós szelvények szerkesztésekor a vertikális felbontás követelménye nem az, hogy valamennyi réteget meghatározzuk, hanem az, hogy a felszín és az alapkőzet közötti rétegsoportot az átlagsebességgel megfelelő egységbe foglaljuk. (Véleményünk szerint egyszerű esetben ez az érvelés elfogadható, azonban bonyolultabb feladat megoldására, amelyet SJÖGREN bővebben is kifejtett, minden meghatározható ismeretre szükség van.) Mindent összegezve, SJÖGREN szerint a GRM módszer geotechnikai célokra (mint pl. létesítmények tervezése), részletes szeizmikus értelmezésre *nem alkalmas*.

SJÖGREN kritikai megjegyzéseire PALMER csak 2009. évi dolgozatában reagált [PALMER 2009]. Szerinte a két mélységszelvény-szerkesztés között nincs számottevő különbség, jóllehet SJÖGREN eltérő aljzatsebességeket határozott meg. Szerinte az a vélemény, hogy a menetidőgörbék illesztése

szubjektivitást visz az értelmezésbe, inkább elfogadható vélemény, mint az, hogy a GRM hibás módszer. Sajnos SJÖGREN 2001-ben elhunyt, így nem szerezhett tudomást PALMER válaszáról. Érdemes felfigyelni az idézett dolgozatban PALMER tapasztalati tényként említett kijelentésére, miszerint a tau- $p$  algoritmus alapú tomografikus módszer nem bizonyult alkalmasnak nagy sebességű aljzaton belüli, alacsony sebességű zónák kimutatására.

Az évek múlásával a töbørszelvény utóélete tovább folytatódott, ugyanis WHITELEY 2002-ben az EAEG 64. firenzei kongresszusán annak újabb változatát mutatta be. Kifejlesztettek egy sugárútszerkesztő számítógépes modellező eljárást *Visual Interactive Ray Trace* (VIRT) néven. Leírása 2004-ben jelent meg az *Exploration Geophysics* folyóiratban [WHITELEY 2004]. Az eljárás sugárútszerkesztésen alapul, állandó sebességű, vertikálisan határolt blokkok 2-dimenziós terében. A programmal a diffrakciós és nem kritikus szög alatt felszínre jutó sugarakat is meg lehet szerkeszteni, ugyanis ezek első beérkezésként jelenhetnek meg, és bonyolultabb felépítésű kutatási területeken összetéveszthetők a valóban kritikus szög alatt érkező, de velük azonos első beérkezési idejű sugarakkal. Első lépésként az adott terepi modell menetidőgörbe rendszere alapján megszerkesztik a kiinduló mélységszelvényt, és a számítógép képernyőjén kézi beavatkozással, a geológiai ismeretek szerint a beiktatott sebességblokkok (compartments) jellemzőinek (sebesség, mélység) változtatásával igazítják az eredeti  $T-X$  adatrendszerhez. Figyelemmel kísérik a kiinduló mélységszelvény jellegzetes helyeit (vetők, süllyedékek, meredek dőlések), amelyek diffraktáló és nem kritikus szög alatti sugarak kiinduló pontjai lehetnek.

A VIRT-eljárással egymáshoz közelített menetidőgörbét és a töbørszelvény új változatát a 6. ábra szemlélteti. Az

új értelmezéssel az aljzat teljes hosszára 2400 m/s sebességet határoztak meg, a fedőréteget különböző sebességű blokkok alkotják. A régi és új értelmezés között mélységbeli eltérések is vannak.

Véleményünk szerint az eredménnyel kapcsolatban felmerül a már említett HAGEDOORN által hangoztatott megállapítás: *adott menetidőgörbe több, egymástól különböző modellnek is megfelelhet*. Ez alól a VIRT-eljárás sem kivétel.

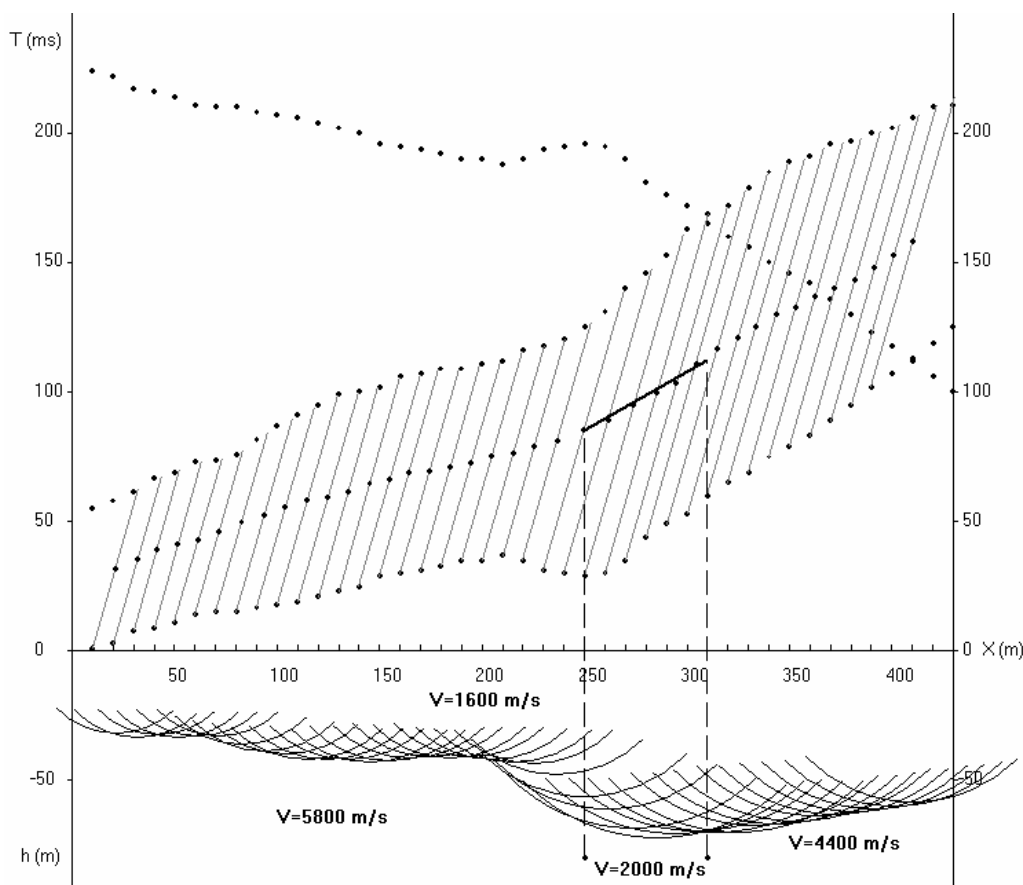
Mindezek után felmerül a kérdés, hogy a töbørszerkezetet geotechnikai–geológiai szempontból a bemutatott szelvények melyik változata közelíti legjobban. Sajnos erre a kérdésre végleges választ nem lehet adni, mert a terület földtanáról rendelkezésre álló ismeret hiányos, az említett közeli fúrás részletes rétegsora közelítően sem ismert, a fúrásban lyukgeofizikai vizsgálat nem volt. Könnyebb válaszolni arra a kérdésre, hogy a történetben szereplő szerzők közül kinek sikerült részletes betekintést adó, korrekt szerkesztést végeznie. Véleményünk szerint SJÖGREN megközelítése geotechnikai szempontból is kifogástalan. Felkészültsége, hozzáértése, szakmai múltja vitán felül álló érv.

A tanulmányozott szakirodalomból jól látható, hogy a bemutatott töbørszelvénnyel kapcsolatban felmerült kérdések második évtizede tartják ébren az újabb megoldást keresők érdeklődését – olykor éles vitákba is bonyolódva. Ez a kutatástörténeti szempontból is figyelemre méltó jelenség kétségtelenül hozzájárul a kiértékelő–értelmező módszerek fejlődéséhez. Nem volna érdektelen hasonló földtani jellegű

magyarországi területen már lemért vagy a jövőben mérendő szelvények korszerű szerkesztési–értelmezési kérdéseinek részletes tanulmányozását elvégezni. Érdekességként megjegyezzük, hogy 1955-ben és 1956-ban dunántúli kutatási területeken (Sümeg, Nyírad, Halimba, Gánt) az ELGI bauxitkutató szeizmikus refrakciós kísérleti méréseket végzett töbørszerkezetek és szeizmikus paramétereik felderítése céljából [SZÉNÁS, GERESEN 1955; PETHŐ 1959].

## Függelék

Ércbányászati előkutatásoknál felmerülő fontos feladat a felszín és az aljzat közötti rétegek vastagságának meghatározása és különösen a fedett aljzaton belüli kőzetsebesség-változások felderítése [WHITELEY 2007; PALMER 2009]. Feltűnő, hogy a fentebb bemutatott töbørszelvényt értelmező szerzők a nagy sebességű aljzaton belüli sebességváltozások kimutatására – *SJÖGREN kivételével* – a HALES-módszert [HALES 1958] nem alkalmazták. Az *Exploration Geophysics* folyóiratban megjelent cikk [WHITELEY, ECCLESTON 2006; 289 o.] visszatér egy PALMER által ismertetett 15 év előtti terepi példa ismételt bemutatására [PALMER 1980; 80. o.]. A szelvény mentén eredetileg GRM-eljárással megállapították az aljzat sebességét, ezen belül a geotechnikai szempontból fontos 2000 m/s alacsony sebességű szakaszt. Ez a jelenség vetőhöz kapcsolható kőzetblokkot, kőzetfellazulást (shear zone) feltételez. A dolgozat részleteit az érdeklődők



7. ábra. Alacsony sebességű zóna kimutatása HALES módszerével

Fig. 7. Determination of a low-velocity zone by HALES' method

figyelmébe ajánlva itt most nem térünk ki a cikkben bemutatott VIRT és a tomografikus (VET) típusú feldolgozásra. PALMER eredeti adatait felhasználva kíváncsiságból elvégeztük a szelvény HALES eljárása szerinti szerkesztését. Az

eredmény a 7. ábrán látható az alacsony sebességű zóna fel-tüntetésével, amelyet a HALES-időhurok azonnal kimutat a GRM nehézkes és szubjektív sebességmeghatározásával el-lentétben.

## HIVATKOZÁSOK

- CSÁSZÁR G. 2005: Az alsóperei bauxit földtani kutatása és szerepe a földtani megismerésben. Földtani Kutatás **XLII**, 3–4, 27–37 (ebben: Vadász E. 1946)
- DOBECKI T. L. 2006: Geophysical applications to detect sinkholes and ground subsidence. The Leading Edge, March 2006, p. 336–341
- HAGEDOORN, J. G. 1955: Templates for fitting smooth velocity functions to seismic refraction and reflection data. Geophysical Prospecting **3**, 325–338.
- HALES F. W. 1958: An accurate graphical method for interpreting seismic refraction lines. Geophysical Prospecting **6**, 3, 285–294
- LANKSTON W. R. 1989. The seismic refraction method: viable tool for mapping shallow targets into the 1990s. Geophysics **54**, 12, 1535–1542
- PALMER D. 1980: The generalized reciprocal method of seismic interpretation. Society of Exploration Geophysicists, Tulsa
- PALMER D. 1981: An introduction to the generalized reciprocal method of seismic refraction interpretation. Geophysics **46**, 11, 1508–1518
- PALMER D. 1986: Refraction seismics; the lateral resolution of structure and seismic velocity. In: K. HELBIG and S. TREITEL (Eds.): Handbook of Geophysical Exploration, Section 1. Seismic Exploration 13, Geophysical Press
- PALMER D. 1990: The generalized reciprocal method – An integrated approach to shallow refraction seismology. Exploration Geophysics **21**, 33–44
- PALMER D. 1991: The resolution of narrow low-velocity zones with the generalized reciprocal method. Geophysical Prospecting **39**, 1030–1060
- PALMER D. 1992: Reply to comments by R. J. Whiteley. Geophysical Prospecting **40**, 925–934
- PALMER D. 2009: Maximising the lateral resolution of near-surface seismic refraction method. Exploration Geophysics **40**, 85–98
- PETHŐ M. 1959: Jelentés a Sümeg, Nyírad, Halimba, Gánt környékén 1955–56. évben végzett kísérleti szeizmikus refrakciós mérésekről. A Magyar Bányászati Hivatal Földtani és Geofizikai Adattára
- POLCZ I. 1993: Az értelmezési eljárások fejlődése a sekélyrefrakciós kutatásban, a felbontóképesség növelése I. Magyar Geofizika **34**, 3, 115–125
- POLCZ I. 2001: Újra a GRM-ről – nyolc év után. Magyar Geofizika **42**, 3
- POLCZ I. 2006: Egy figyelemre méltó refrakciós módszer: F. W. Hales kiértékelési eljárása. Magyar Geofizika **46**, 158–162
- STÖGREN B. 2000: A brief study of applications of the generalized reciprocal method and of some limitations of the method. Geophysical Prospecting **48**, 815–834
- SZÉNÁS GY., GEREKEN L. 1955: Szeizmikus refrakciós mérések alkalmazása a bauxitkutatásban. Geofizikai Közlemények **4**, 1, 67–74
- WHITELEY R. J. 1992: Comment on “The resolution of narrow low-velocity zones with the generalized reciprocal method” by Derecke Palmer. Geophysical Prospecting **40**, 925–931
- WHITELEY R. J. 2002: Shallow refraction interpretation in complex conditions with visual interactive ray tracing. EAEG 64th Conference & Exhibition, Florence, Italy
- WHITELEY R. J. 2004: Shallow seismic refraction interpretation with visual interactive ray trace. Exploration Geophysics **35**, 116–123
- WHITELEY R. J., ECCLESTON P. J. 2006: Comparison of shallow seismic refraction interpretation methods for regolith mapping. Exploration Geophysics **37** p. 210–214
- WHITELEY R. J. 2007: Seismic characteristics of the Elura ore body and regolith. Exploration Geophysics, **38**, 243