

Az első beérkezési idők kijelölésének vizsgálata a szeizmikus tomográfiai kutatásokban¹

BÁNNÉ GYÖRI ERZSÉBET²

A szeizmikus tomográfiában a rugalmas hullámok (általában az első beérkezések) terjedési idejéből következtethetünk a vizsgált geológiai szerkezeten belüli terjedési sebesség térbeli eloszlására. A sebességmeghatározás megbízhatósága az inverziót megvalósító algoritmus mellett az első beérkezési idők meghatározásának pontosságától függ. Nagy jel/zaj arányú szelvényeken a legtöbb, különböző elven alapuló eljárás pontosan kijelöli az első beérkezések idejét. Az abszorpció miatt bekövetkező jelalak változás hatására, valamint a zajszint növekedésével a feladat bonyolultabbá válik, és az automatikus módszerek megbízhatósága egyre csökken. A dolgozat egy általunk megvalósított, a keresztkorrelációs módszeren alapuló első beérkezés meghatározási algoritmust és az alkalmazásával nyert tapasztalatokat mutatja be.

E. GYÖRI: First Arrival Picking in Seismic Tomography

In seismic tomography the velocity distribution in geologic structure can be determined from travel times of elastic waves (usually from the first arrivals). Reliability of velocity determination depend on the accuracy of inversion algorithm and first arrival picking.

Most of procedures based on different methods are able to pick accurate times of first breaks on the sections with high signal-to-noise ratio. Reliability of automatic methods is decreased by spectral attenuation of the first arrival wavelet due to absorption. This paper describes our algorithm based on cross correlation method and presents some result.

Bevezetés

A szeizmikus kutatásban a hullámfázisok beérkezési időinek — ezen belül különösen az első beérkezések időinek — kijelölése alapvetően fontos feladat, melyekre néhány példa a statikus korrekciók meghatározása, a VSP mérések feldolgozásának néhány fontos művelete és a szeizmikus tomográfia.

Közismert, hogy mind a reflexiós, mind a refrakciós szeizmikus kutatásnál a további feldolgozás sikere a pontos statikus korrekciótól függ. A felszíni laza réteg alacsony sebessége miatt a vastagság megváltozása kiküszöbölendő etolást hoz létre a reflektált vagy refraktált jel beérkezési idejében. A korrigáláshoz nélkülözhetetlen a beérkezési idők pontos ismerete.

VSP mérések feldolgozásában (a felidő korrekciónál, a le- és felfelé haladó hullámterek időtranszformációinál, az átlagsebesség-mélység függvény, az intervallumsebességek számításánál) is döntő fontosságúak a pontos első beérkezés meghatározások. A pontos VSP első beérkezések kapcsolják össze az akusztikus mélyfúrás geofizikai szelvényt (mely nagy felbontóképességű mérés, de melynek integrált terjedési idői nem olyan pontosak), a VSP felfelé haladó hullámteret a felszíni szeizmikus reflexiós mérések időskálájával.

A szeizmikus tomográfiában a rugalmas hullámok (általában az első beérkezések) terjedési idejéből következtethetünk a vizsgált geológiai szerkezeten

belüli terjedési sebesség térbeli eloszlására. Ha fel tesszük, hogy a becsülni kívánt sebességeloszlás csak az x horizontális távolságtól és a z mélységtől függ, a rugalmas hullám terjedési idejét a gerjesztési és az észlelési pont között a

$$t_k = \int_{R_k} \frac{1}{v(x,z)}$$

vonaltintegrál adja meg, ahol t_k a k -ik sugárút mentén haladó hullám terjedési ideje, R_k pedig maga a sugárút, amelynek mentén az integrálást végre kell hajtani. Mivel a gyakorlatban digitális adatrendszerekkel dolgozunk, a fenti integrálegyenletet is digitalizálnunk kell. Tegyük fel például, hogy M számú mérési adatunk van, és a vizsgált kétdimenziós geológiai szelvényt N számú blokkra osztottuk fel egy rácsháló segítségével. Jelölje v_i a sebesség ismeretlen értékét az i -ik blokkban, Δs_{ki} pedig jelentse a k -ik sugár által az i -ik blokkban megtett út hosszát. Ezen jelölések felhasználásával a következő lineáris egyenletrendszerhez jutunk:

$$t_k = \sum_{i=1}^N \Delta s_{ki} / v_i, \quad k=1,2,\dots,M$$

Amennyiben a k -ik sugár nem halad át az i -ik blokkon $\Delta s_{ki} = 0$. Tehát a $v(x,z)$ függvényt egy N -ismeretlenes, M egyenletből álló lineáris egyenletrendszer megoldásával becsülhetjük meg, melynek bal oldalán az első beérkezési idők állnak. Ezért azt mondhatjuk,

¹Beérkezett: 1994. február 28-án

²MTA Geofizikai Tanszéki Kutatócsoport, H-1083, Budapest, Ludovika tér 2.

hogy az inverzió alapfeltétele az első beérkezések pontos kijelölése.

Jelen dolgozat ismerteti a szakirodalomban közölt számos algoritmus közül néhányat és bemutat egy, a tomográfiai sebességinverzióknál általunk használt algoritmust és az alkalmazása során nyert tapasztalatokat.

Első beérkezési idők kijelölési eljárásai

A szeizmikus hullámok első beérkezésének definíciója többféle módon közelíthető meg. Kijelölésük látszólag egyszerű problémájáról számos cikk jelent meg a szakirodalomban, melyek közül ismertetünk néhányat a továbbiakban. Mivel a különböző időkben beérkező hullámok más-más geológiai rétegekben és utakon haladtak keresztül, ezért a különböző mértékű gömbi szóródás, abszorpció, reflexiós veszteségek következtében nemcsak időtolás lép fel a különböző beérkezési idők között, hanem megváltozik a jel amplitúdója és spektruma is. A jel/zaj arány csökkenésével a helyzet még bonyolultabbá válik. Zaj hiányában a kiértékelő geofizikus könnyen azonosítja a beérkezéseket, ennek ellenére matematikailag elég nehezen fogalmazhatók meg az idő kijelölésének kritériumai.

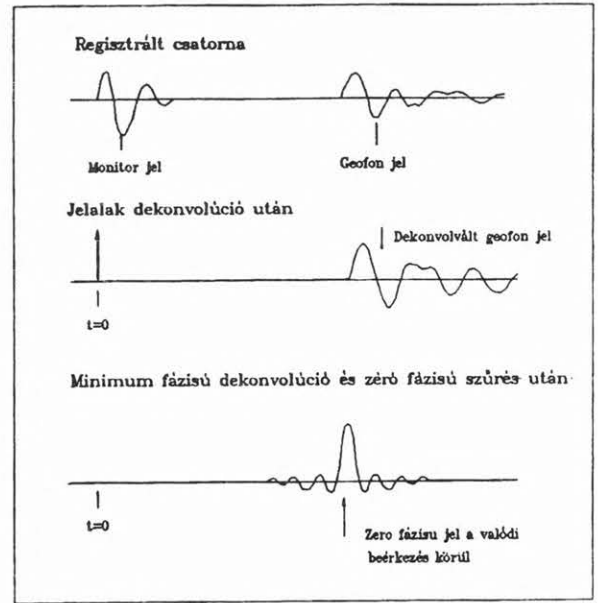
Az első beérkezés pontos idejének leginkább az első „beütés” (first break) ideje tekinthető. Meghatározását az alacsony jel/zaj arány igen megnehezítheti, viszont a jelalak változásra nem érzékeny. Az első pozitív, illetve negatív csúcs könnyebben meghatározható, mivel kevésbé érzékeny a zajszint növekedésére, de ez a hullámcsoport beérkezési idejét adja meg. Az adatokon elvégzett különböző transzformációk segítségével azonban elérhető, hogy a csúcsok a valódi beérkezési időkhöz kerüljenek.

VSP méréseknél ez a következő módon érhető el [DILLON, COLLIER 1985]: Az első lépés egy kétoldali inverz Wiener-szűrőt alkalmazó jelalak dekonvolúció. A számítás végeredménye jó közelítéssel a geológiai közegnek egy impulzus forrásra adott minimum fázisú válasza. Ebből következik, hogy a jel fázisa becsülhető vagy közvetlenül Hilbert-transzformációval, vagy minimum fázisú Wiener-dekonvolúciós szűrővel, mely a jelet összenyomja közelítőleg egy spike-ká a valódi beérkezési idő környezetébe (1. ábra).

Az első beérkezések kijelölésének két csoportja létezik aszerint, hogy a módszer egy, vagy egyszerre több csatornát használ fel.

Egy csatornát használ fel például RICKER [1953] módszere, melynél az első beérkezést az első pozitív, ill. negatív csúcsot megelőző inflexiós ponthoz húzott érintő és az időtengely metszete definiálja. A módszer nem túl érzékeny a zajra és az erősítés változására, ám az így meghatározott idő mindig nagyobb a valódinál.

Az első beérkezés definiálható úgy is, mint a csatorna energiájának hirtelen megnövekedése, vagyis az első mérhető eltérés a zajtól. Ennek érdekében különféle energiával kapcsolatos függvények számíthatók az egyes csatornákra. Ilyen például a COPPENS [1985] által definiált következő $F(\tau)$ függvény, mely az $s(t)$ csatorna L hosszúságú rövid futó ablakban számított energia és a csatorna kezdetétől a rövid ablak végéig számított energia hányadosa:



1. ábra. VSP csatornákon elvégzett transzformációk után elérhető, hogy a „first break” idejéhez a dekonvoltált jel könnyebben kijelölhető maximuma kerüljön. [DILLON, COLLYER 1985 után]

Fig. 1. Processing route for VSP measurements generating a trough at the first break location [after DILLON, COLLYER 1985]

$$F(\tau) = \frac{\int_{\tau-L}^{\tau} s^2(t) dt}{\int_0^{\tau} s^2(t) dt}$$

A másik ilyen energiafüggvény például a SPAGNOLINI koherens módszerénél [1991] is alkalmazott MER (moving energy ratio), ahol:

$$\text{MER}(k) = F(k)/B(k)$$

ahol $B(k)$ a k -ik pontot megelőző L_B pontot tartalmazó, az $F(k)$ a k -ik pont után következő L_F pontból álló és $w(n)$ szimmetrikus ablakfüggvénnyel súlyozott ablak energiája.

$$B(k) = \frac{\sum_{n=k-L_B}^{k-1} [w(n+L_B/2-k) \cdot s(n)]^2}{L_B}$$

$$F(k) = \frac{\sum_{n=k+1}^{k+L_F} [w(n+L_F/2-k) \cdot s(n)]^2}{L_F}$$

Itt azt a k_1 indexű mintát tekintjük első beérkezésnek, melyre teljesül, hogy $\text{MER}(k_1) > \text{MER}(k)$, ahol $k \neq k_1$.

HATHERLY [1982] módszere a Ricker-módszer továbbfejlesztésének tekinthető. Algoritmusa há-

rom fő lépésből áll. Először megkeresi az i -ik csatornára azt a t_i időt, amelyhez tartozó értékek szignifikánsan különböznek az előzőektől. Ezután a vizsgált csatornán t_i -t követő első inflexiós pont helyét számítja (T_i). Végül a valódi első beérkezéseket (t_i) úgy kapja meg, hogy az első és második lépésben meghatározott idők különbségeit átlagolja az összes csatornára és kivonja T_i időkből.

$$t_i = T_i - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (T_j - t_j)$$

Ezek a módszerek egyszerre csak egy csatornát vesznek figyelembe, és még a jó jel/zaj arányú felvételeken is igen nagy hibákkal dolgoznak. Pontosabb eredményeket adnak azok a módszerek, amelyek az energia hirtelen megnövekedése mellett azok koherenciáját, valamint a jelalakok hasonlóságát is figyelik a szomszédos csatornákon.

Ilyen például PERALDI és CLEMENT [1972] módszere, akiknél egy referencia csatorna, valamint a többi csatorna közötti normalizált keresztkorrelációs függvény maximuma adta meg a kijelölt beérkezési időt.

COPPENS [1985] egy jelet akkor fogad el első beérkezésként, ha a három következő kritérium egyidejűleg teljesül:

- az energia hirtelen megnövekedése az adott csatornán,
- az energianövekedés időinek koherenciája az egymást követő csatornákon,
- a szomszédos csatornákon regisztrált jelalak hasonlósága.

Az energianövekedés vizsgálatára a már ismertett $F(\tau)$ energiafüggvényt használja. A kapott $F(\tau)$ függvény maximumhelye (τ_0) adja az első beérkezés közelítő idejét. Ezután az első beérkezés polaritásától függően megkeresi τ_0 környezetében az első pozitív, illetve negatív csúcsot. COPPENS tapasztalatai szerint kicsi vagy stacionárius zaj esetén a módszer jól működik. Ha a zajszint nagy vagy a zaj nem stacionárius, akkor az első beérzésektől eltérően a zajnak ez a típusa korrelálatlan az egymás melletti csatornákon és egy koherencia szűrővel kiszűrhető.

GELCHINSKY és SHTIVELMAN [1983] a jelek korreláltságát kihasználva és bizonyos statisztikai kritériumokat figyelembe véve határozza meg a jel beérkezésének idejét. Az eljárás három fő lépésből áll. Mivel a zaj amplitúdója egyes csatornákon igen nagy is lehet, valamint rövid intervallumokon korreláltságot is mutathat, az első lépésben a szerzők az amplitúdók megváltoztatásával megzavarják a zajok esetleges korreláltságát. Második lépésben ún. studentogramokat számítanak minden egyes pontra. Az eljárás ezen részénél feltételezik, hogy az első beérkezések menetidőgörbéje egyenessel közelíthető, így célszerű egy adott pont értékét a szomszédos két csatornán megfelelő időkülönbséggel regisztrált két pont értékéhez hasonlítani. Legyen $W(j, k)$ az adott csatorna j -ik pontjára (a szomszédos csatornák $j-k$ -ik illetve $j+k$ -ik pontja segítségével) meghatározott érték, a három pontbeli módosított csatorna érték átlagának és szórásának hányadosa. A feladat ezen

$W(j, k)$ értékek kiszámítása adott csatornára minden, a mérési elrendezés ismeretében szóba jöhető pontra és csatornák közötti időtolásra. Az így kiszámított $W(j, k)$ értéke a jel beérkezését követő időpontokban, megfelelő k időtolással számolva lényegesen nagyobb, mint a beérkezés előtt. Tehát az adott küszöbértéket meghaladó $W(j, k)$ studentogramok közül a legkisebb időértékhez tartozót megkeresik, mely időértéket tekintik az adott csatorna első beérkezési idejének.

HATHERLY és az utolsónak említett két módszer összehasonlító vizsgálatát TÁLAS Sándor végezte el [1990]. Vizsgálataiban HATHERLY és COPPENS módszerei által adott eredményeket nem találta kielégítőnek, tapasztalatai alapján a jel/zaj arány csökkenésével mindkettőnél jelentős hibák fordulhatnak elő. GELCHINSKY és SHTIVELMAN eljárása a zajokra kevésbé volt érzékeny és a refrakciós kutatás számára a legígéretesebbnek bizonyult. Algoritmusa azonban azt feltételezi, hogy az első beérkezések menetidőgörbéje közel egyenes, ami több kutatási módszernél, így a tomográfiánál sem teljesül.

SPAGNOLINI [1991] szintén refrakciós első beérkezések kijelölésére alkalmazza koherens illesztett eljárását. Először megad az első beérkezések waveletjére egy konvolúciós modellt, melyet felhasznál egy wavelet felismerő eljárásban. Az első beérkezéshez illesztett szűrő outputja egy pillanatnyi amplitúdójával és fázisával együtt számított komplex jel. Az abszorpció miatti frekvenciafüggő csillapodás következtében az illesztett szűrőt változtatja az offset függvényében. Második lépésben egy adaptív illesztett szűrőre alapuló algoritmust alkalmaz a beérkezési idők kijelölésére.

A fent említetteken kívül több tanulmány jelent meg az ún. „neural network” tanuló algoritmusokról. Egy ilyen algoritmus [MCCLELLAND, RUMELHARDT 1988] alkalmazása során nyert tapasztalatait mutatja be M. E. MURAT és A. J. RUDMAN [1992] tanulmányában. Az eljárás négy szeizmikus attribútumot használ fel a „neural network” input paramétereként, melyek a csatorna adott pontján a pillanatnyi energiára, az energia lokális és regionális megváltozására, valamint a szomszédos csatornákon a beérkezések koherenciájára jellemző mennyiségek. Ezek felhasználásával számított output függvény értékétől függően dönti el, hogy egy adott fél ciklus első beérkezése vagy sem. Az output függvény számításánál felhasznált súlyokat egy tanuló algoritmus határozza meg néhány „tréning” csatorna alapján, melyeken a kiértékelő jelöli be az első beérkezéseket. A módszer nagy jel/zaj arányú csatornákon jól működik, de a zajszint növekedésével — az algoritmus bonyolultsága ellenére — előfordulnak téves fáziskijelölések.

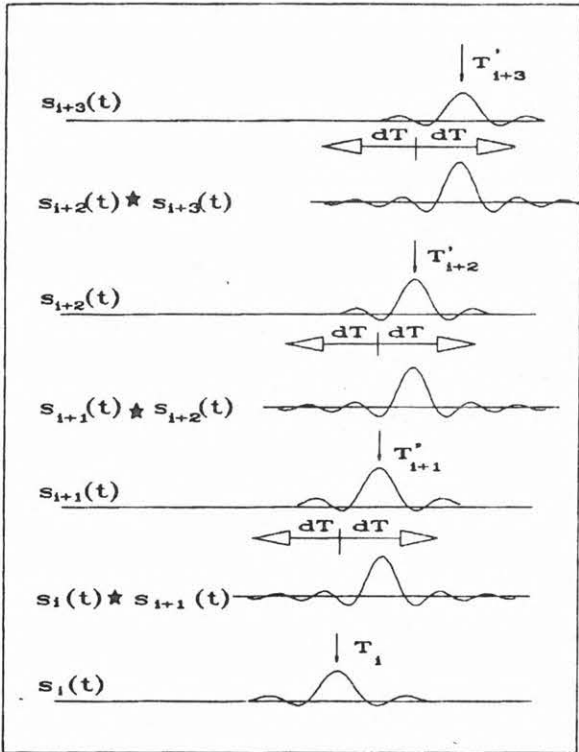
Az első beérkezések kijelölésének megvalósított változata

A tisztán automatikus eljárások hátránya az, hogy nehéz matematikailag megfogalmazni az első beérkezések meghatározásának definícióját. Az újabb módszerek igyekeznek a szubjektív gondolkodás elemeit utánozni, éppen ezért egyre bonyolultabbá is válnak.

A megvalósított félig automatikus, az ELTE Geofizikai Tanszékén kifejlesztett programsomagba

szervesen illeszkedő program a jól ismert keresztkorrelációs módszerrel alapul.

Első lépésben a monitoron megjelenítjük az adott szelvényt és kiválasztunk egy tetszőleges csatornát (i -ik), majd kijelöljük rajta az első beérkezés pontos idejét (T_i) (2. ábra). Ezután meghatározunk egy

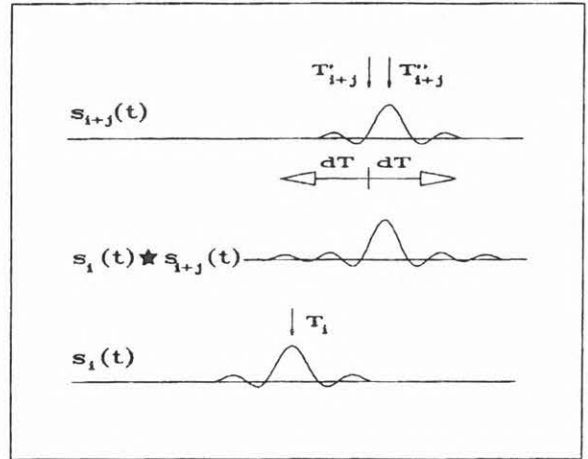


2. ábra. A megvalósított eljárás első lépése: A kiválasztott $s_i(t)$ csatorna manuálisan meghatározott első beérkezési ideje T_i . A $[T_i - dT, T_i + dT]$ ablakban az i -ik és $i+1$ -ik csatorna keresztkorrelációs függvényének maximumához tartozó T'_{i+1} idő adja az $i+1$ -ik csatorna első beérkezési idejének első megközelítését. A következő $s_{i+2}(t)$ csatorna idejét a T'_{i+1} -höz igazított ablakban kerestett keresztkorrelációs függvény maximuma adja

Fig. 2. The first step of the applied method: The first arrival time T_i is determined manually on a selected $s_i(t)$ channel. The maximum of the cross-correlation function between the i th and $(i+1)$ th traces in the window $[T_i - dT, T_i + dT]$ gives the first approach of first arrival on the $(i+2)$ th trace (T'_{i+1}). The first arrival of the next channel $s_{i+2}(t)$ is determined by the maximum of cross-correlation function in window adjusted to T'_{i+1}

olyan maximális időkülönbséget, melyet még elfogadhatónak tartunk két első beérkezés között (dT). Ez az érték a megjelenített szelvény alapján becsülhető. Mivel valószínű, hogy a legkevésbé zajos csatorna nem az első vagy az utolsó, ezért a program először az i -től az utolsó felé, majd az i -től az első csatorna felé haladva végzi a számítást. (Ez csökkenti az esetleges szisztematikus jelalak változás okozta pontatlan időkijelöléseket.) A számítás úgy történik, hogy a program kiszámítja a keresztkorrelációt az i -ik és $i+1$ -ik csatorna között, majd a $[T_i - dT, T_i + dT]$ időablakban megkeresi a keresztkorrelációs függvény maximumát. Az ehhez a maximumhoz tartozó idő lesz a T'_{i+1} . Most a $[T'_{i+1} - dT, T'_{i+1} + dT]$ időintervallumban keressük az $i+1$ -ik és az $i+2$ -ik csatorna

közötti keresztkorrelációs függvény maximumát és ez megadja az $i+2$ -ik csatorna T'_{i+2} első beérkezési idejét. A számítás így folytatódik, amíg el nem jutunk az utolsó csatornáig, majd ugyanilyen módon az i -től az elsőig. Mivel a számítás mindig az utóljára meghatározott beérkezési időtől folytatódik, az időmeghatározás hibája egyre nő. Hogy ezt a hibaterjedést kiküszöböljük, ezért a számítást megismételjük úgy, hogy a kijelölt i -ik referencia csatorna és az összes többi $i+j$ -ik csatorna keresztkorrelációs függvényét képezzük, és keressük a maximumot a $[T'_{i+j} - dT, T'_{i+j} + dT]$ ablakban. Az így meghatározott időtolással módosítjuk az előző lépésben kijelölt T'_{i+j} és kapjuk meg a T'_{i+j} beérkezési időt (3. ábra).



3. ábra. Az eljárás második lépése az $i+j$ -ik csatornán: $[T'_{i+j} - dT, T'_{i+j} + dT]$ ablakban az i -k és az $i+j$ -ik csatorna keresztkorrelációs függvényének maximumához tartozó T'_{i+j} idő adja az $i+j$ -ik csatorna elsőbeérkezésének második közelítését

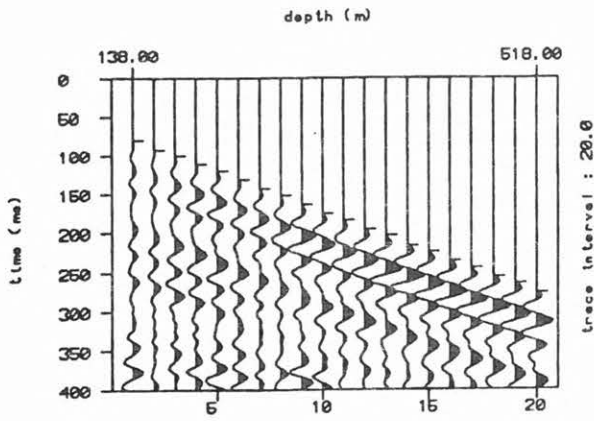
Fig. 3. The second step of the method on the $(i+j)$ th channel: The maximum of the cross-correlation function between i th and $(i+j)$ th traces in the window $[T'_{i+j} - dT, T'_{i+j} + dT]$ gives the second approximation of the first arrival on the $(i+j)$ th trace (T'_{i+j})

T'_{i+j} csak mintavételi helyre eshet, ezért pontossága sem lehet nagyobb a mintavételi távolságnál. Ha azonban a keresztkorrelációs függvény maximumára, valamint a két szomszédos pontra parabolát illesztünk, és ennek a parabolának keressük a maximum helyét, úgy a kijelölés pontosságát tovább növelhetjük.

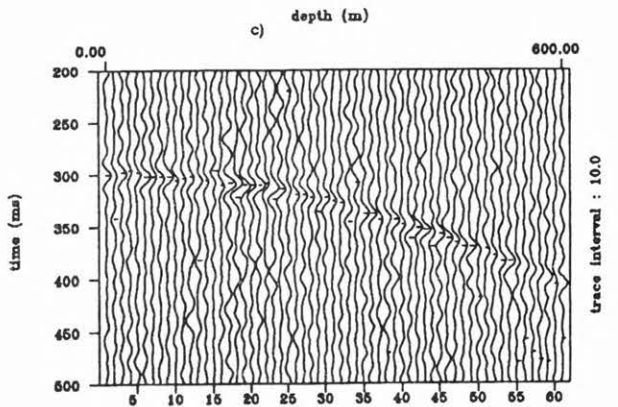
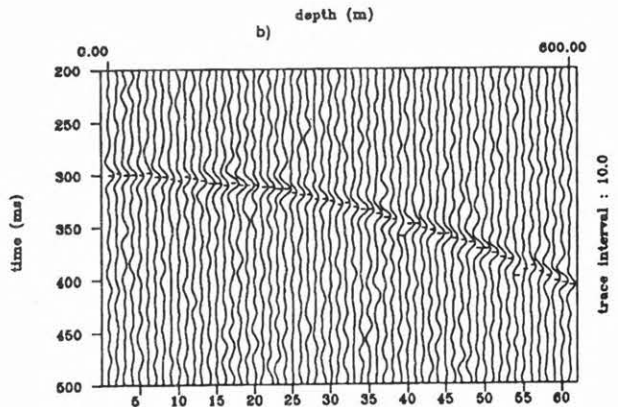
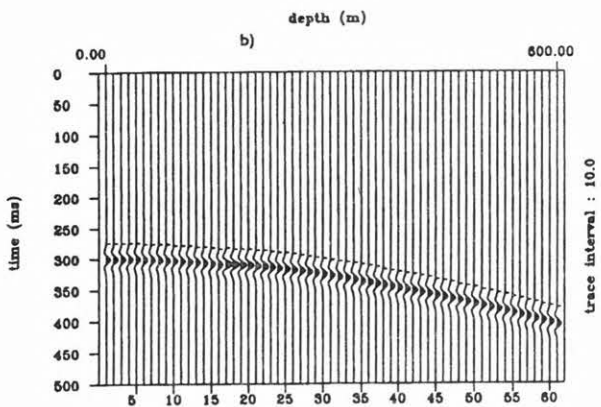
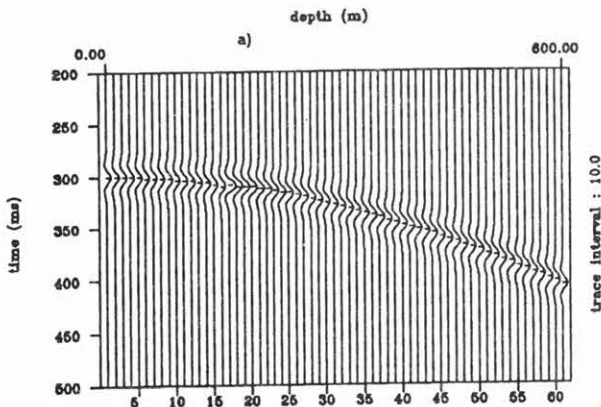
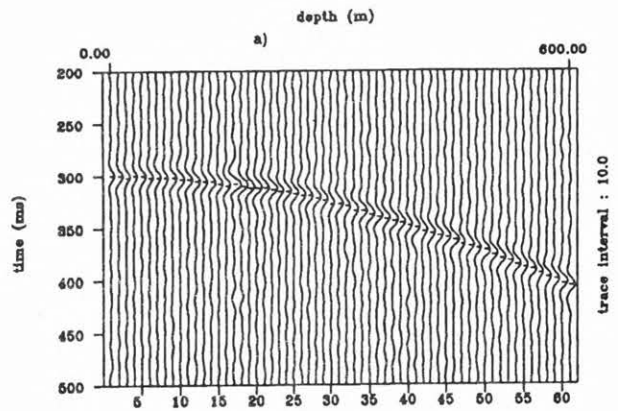
A módszer vizsgálata

Modellszámítások tapasztalatai alapján a 2 ms-mal mintavételezett zajmentes szelvényen az időkijelölés hibája a $\pm 0,02$ ms-ot nem haladja meg, gyakorlatilag teljesen pontosnak tekinthető (4. ábra). Ebben az esetben — tehát zaj hiányában — ugyanolyan pontosan tudjuk kijelölni az első beütéseket, mint a pozitív, illetve negatív csúcsokat (5a., b. ábra).

Zaj hozzáadásával a kijelölés pontossága romlik. A 6a. ábrán 100 %-os zajszint mellett a hiba egyetlen csatornán sem haladja meg a ± 2 ms-ot, vagyis az egy mintavételt, az eltérések abszolút értékeinek átlaga pedig 0,59 ms, melyet elfogadhatónak tekinthetünk. (Itt a zajszint mértéke a véletlenszerű zaj szórására vonatkozik a csatorna energiájának százalékában.)



4. ábra. Zaj hiányában a módszer pontosan kijelöli az első beérkezések idejét
 Fig. 4. In absence of noise determination of the first arrival times are very accurate



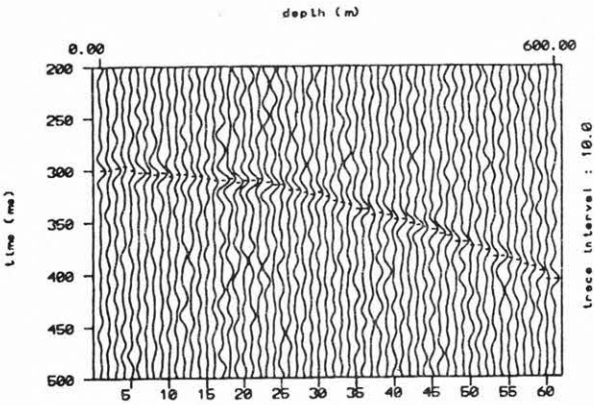
6. ábra. Az első beérkezési idő meghatározás bizonytalanságának növekedése a zajszint emelkedésével, ha az ablak szélességét túl nagyra választjuk ($dT=50$ ms)
 Fig. 6. Increase of uncertainty of first arrival picking with noise if the width of the window is too large ($dT=50$ ms)

5. ábra. Zaj nélküli szintetikus szelvényen pontosan végigkövethető a jel maximális amplitúdója (a) és a „first-break” ideje is (b)
 Fig. 5. In absence of noise detection of troughs (a) and the first breaks (b) are both reliable on the synthetic sections

Mivel a példaként bemutatott szelvényen csak egyetlen beérkezés szerepel, a csatorna átlagos energiája kicsi, emiatt magas értéket kell megadnunk viszonylag kis mértékű zaj esetén is.) Ha a zajszintet kétsze-

resére növeljük (6b. ábra), a kijelölés pontossága tovább csökken. Az eltérések abszolút értékeinek átlaga 1,41 ms, ami még elfogadható, de hat csatornán, vagyis a csatornák 10 százalékánál a hiba nagyobb a megengedhető 2 ms-nál, fázisugrások fordulnak elő. Ha a zajszintet tovább, a háromszorosára növeljük (6c. ábra), a módszer teljesen elromlik. A 61 csatornából 29 esetben a hiba meghaladja a 2 ms-

ot, az eltérések abszolút értékeinek átlaga is nagyon rossz (16,54 ms). Az 5. és 6. ábrákon a dT ablak szélességét az okvetlenül szükségesnél nagyobbobnak, 50 ms-nak választottuk, és látható, hogy a zajszint növekedésével durva hibák léphetnek fel. Tehát itt, és ha az első beérkezést kis időkülönbséggel újabb fázisok követik, akkor különösen fontosá válik az ablak szélességének megfelelő megválasztása. Ha túl nagy értéket választunk, a hiba igen nagy lehet. Általában véve egy szelvényen az első beérkezések lefutása sima, nincsenek benne ugrások, ezért az ablak mérete bizonyos határig csökkenthető. Példánkban $dT=10$ ms választása mellett még igen zajos szelvényen is jónak mondható a beérkezések kijelölése (7. ábra). Bár a hiba 11 esetben kis mértékben meghaladja a 2 ms-ot, de a kijelölés követi a maximumokat és az eltérések abszolút értékeinek átlaga 1,24 ms, ami ilyen zajos szelvényen elfogadható.



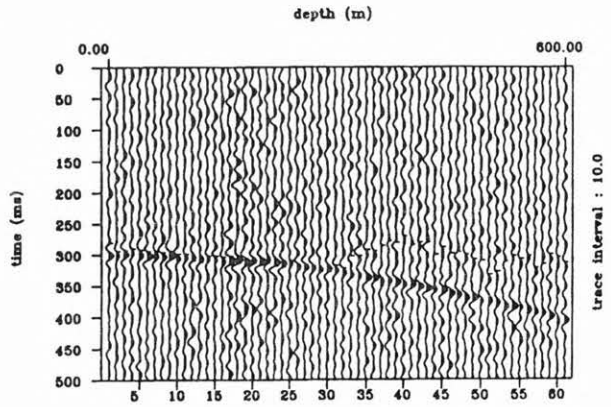
7. ábra. Megfelelő ablakválasztás mellett ($dT=10$ ms) az időmeghatározás pontossága megnő magas zajszint esetén is
Fig. 7. In spite of high noise level the accuracy of time determination increases with suitable choice of window length ($dT=10$ ms)

Fel kell hívni a figyelmet azonban arra, hogy itt is csak a csúcsokat tudjuk ilyen biztonsággal kijelölni, ugyanez a paraméter választás az első „beütés” kijelölésére már teljesen rossz eredményeket ad. A 8. ábrán az általunk kijelölt beérkezés az első csatornán látható. Az algoritmus már a második csatornánál sem az első „beütést” jelöli ki, elcsúszik a jel más pontjára, a 33. csatornától kezdve viszont teljesen „eltéved”. Ezért is fontos a már az előzőekben a VSP mérésekkel kapcsolatban említett jelalakszűrés és minimum fázisú dekonvolúciós szűrés.

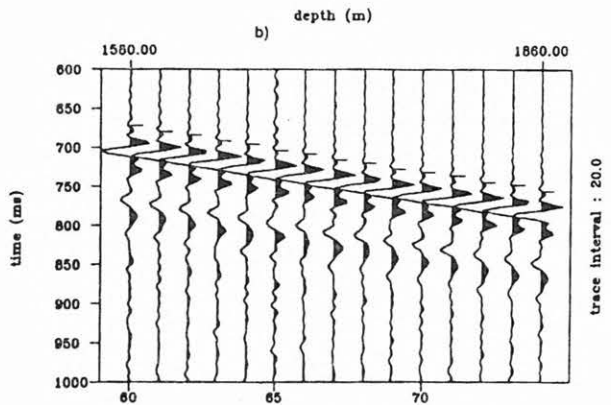
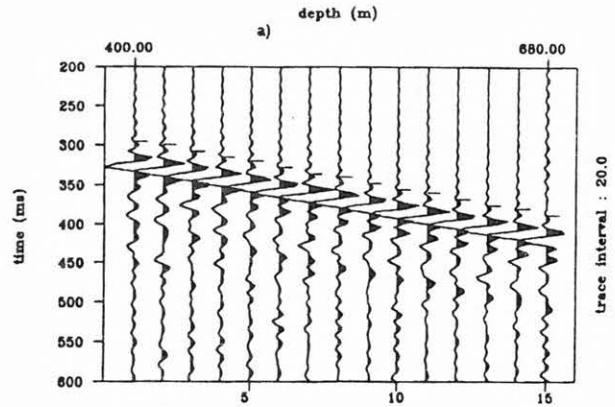
A módszert több jelalak szűrt mért VSP szelvényen kipróbáltuk, ahol megfelelő ablakválasztással jó eredményeket kaptunk. A 9a,b. ábrán egy ilyen jelalak szűrt mért VSP szelvénynek egy-egy részlete látható.

Az eljárás alkalmas nemcsak az első beérkezések kijelölésére, hanem más, jól követhető fázisok időinek kiolvasására is. A 10. ábra egy mért VSP szelvényen mutatja be egy közbenső hullámfázis követését.

Bár a módszer nem teljesen automatikus és emiatt lassabb is azoknál, az ablakméret változtatásával és

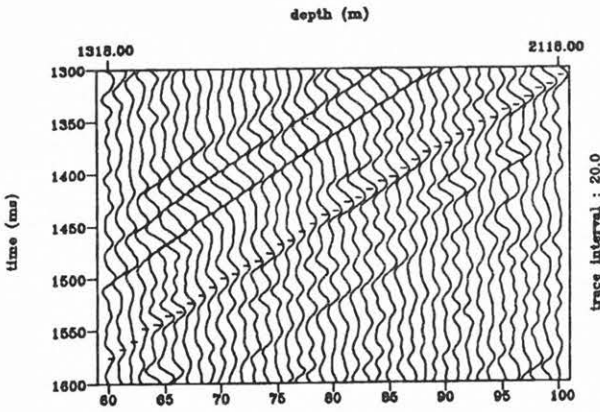


8. ábra. Az első beütési idők meghatározása a 6. ábránál alkalmazott paraméter választás esetén sem megfelelő
Fig. 8. Determination of first breaks isn't correct with parameters used on Fig.6



9. ábra. Mért VSP szelvényen kijelölt első beérkezési idők a teljes szelvény első 15 (a), illetve utolsó 15 (b) csatornáján
Fig. 9. Picked first arrivals for the first 15 (a) and the last 15 (b) traces on a VSP section

az előzetesen végrehajtott feldolgozási lépések után alkalmas az első beérkezések kijelölésére.



10. ábra. A módszer alkalmazása reflexiókövetésre
 Fig. 10. The method is available for detection of reflection arrivals

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani az OTKA Iroda anyagi támogatásáért (No. F4237), mely lehetővé tette ezen vizsgálatok elvégzését.

COPPENS F. 1985: First-arrival picking on common-offset trace collections for automatic estimations of static corrections. *Geophysical Prospecting* **33**, 1212-1231

DILLON P. B., COLLYER V. A. 1985: On timing the VSP first arrival. *Geophysical Prospecting* **33**, 1174-1194

GELCHINSKY B., SHTIVELMAN V. 1983: Automatic picking of of first arrivals and parameterization of traveltimes curves. *Geophysical Prospecting* **31**, 915-928

HANSEN K. M., ROY-CHOWDHURY K., PHINNEY R. A. 1988: The sign filter for seismic event detection. *Geophysics* **53**, 1024-1033

HATHERLY P. J. 1982: A computer method for determining seismic first arrival times. *Geophysics* **47**, 1431-1436

MCCLELLAND J., RUMELHARDT J. 1988: *Explorations in Parallel Distributed Processing: A Handbook of Models, Programs, and Exercises*. MIT Press

MURAT M. E., RUDMAN A. J. 1992: Automated first arrival picking: a neural network approach. *Geophysical Prospecting* **40**, 587-604

PERALDI R., CLEMENT A. 1972: Digital Processing of refraction data-study of first arrivals. *Geophysical Prospecting* **20**, 529-548

RICKER N. 1953: The Form and Laws of Propagation of Seismic Wavelets. *Geophysics* **18**, 10-40

SPAGNOLINI U. 1991: Adaptive picking of refracted first arrivals. *Geophysical Prospecting* **39**, 293-312

TÁLAS S. 1990: Szeizmikus első beérkezések automatikus detektálására szolgáló eljárások összehasonlító vizsgálata. *Magyar Geofizika* **31**, 10-28