

Szeizmikus kutatás

Összeállította: dr. Pethő Gábor

Mechanikai értelemben merev, rugalmasan deformálható továbbá képlékeny testeket különböztetünk meg.

A szeizmikus hullámterjedés rugalmas közegben valósul meg, azaz a feszültség és alakváltozás között jó közelítéssel lineáris összefüggés van, így a rezgésállapot megszűnte után a közeg eredeti alakját veszi fel. A hullámegyenletek a homogén izotróp közegben terjedő testhullámokra (longitudinális és transzverzális) adhatók meg. A levezetés során a rugalmasan deformálható test mozgásegyenletét kell felírni. (GYORSULÁSI ERŐ=KÜLSŐ ERŐK EREDŐJE, Newton II. törvénye, Hooke-törvény beépítése, új változók bevezetése). A levezetéseket mellőzve a két test hullámra vonatkozó egyenlet:

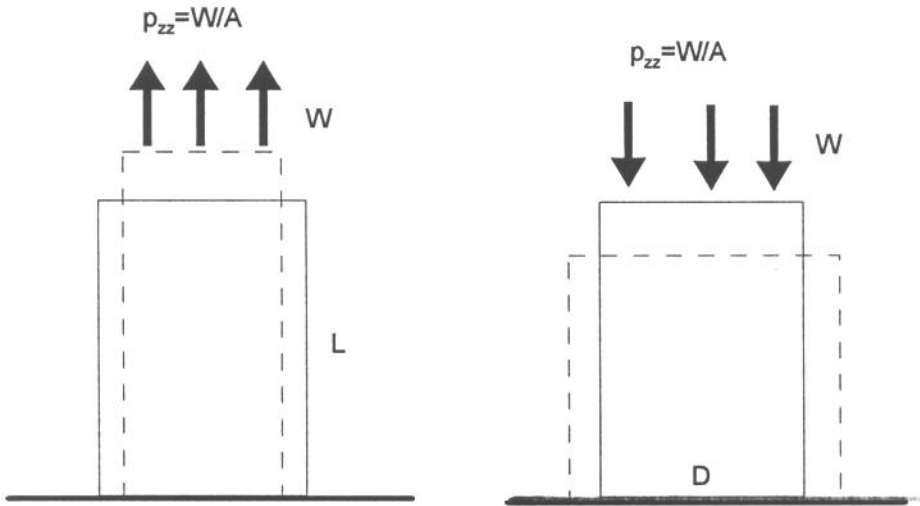
$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} = \frac{\lambda + 2\mu}{\rho} \Delta \theta$$

longitudinális

$$\frac{\partial^2 \vec{\psi}}{\partial t^2} = \frac{\mu}{\rho} \Delta \vec{\psi}$$

transzverzális

Rugalmassági állandók (1)
Young modulusz (E) és Poisson szám (σ)



$$E = p_{zz}/e_{zz} \quad p_{zz} = W/A \quad e_{zz} = \Delta L/L$$

A Young modulusz egyirányú húzás vagy nyomás mellett definiálható a feszültség és az alakváltozás hányadosaként.

$$\sigma = \frac{\Delta D/D}{\Delta L/L}$$

A Poisson szám egyirányú húzás vagy nyomás mellett definiálható a relatív átmérő-változás és a relatív hosszváltozás hányadosaként.

A longitudinális és transzverzális hullám sebessége a közet sűrűsége mellett a Lamé állandóktól (λ és μ) függ. A Lamé állandók pedig a Young modulusz és a Poisson szám függvényei. Így elmondható, hogy a longitudinális és transzverzális hullám sebessége a közet sűrűsége mellett függ a rugalmassági állandóktól is.

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} = \frac{\lambda + 2\mu}{\rho} \Delta \theta$$

$$V_P = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}$$

$$\frac{\partial^2 \vec{\psi}}{\partial t^2} = \frac{\mu}{\rho} \Delta \vec{\psi}$$

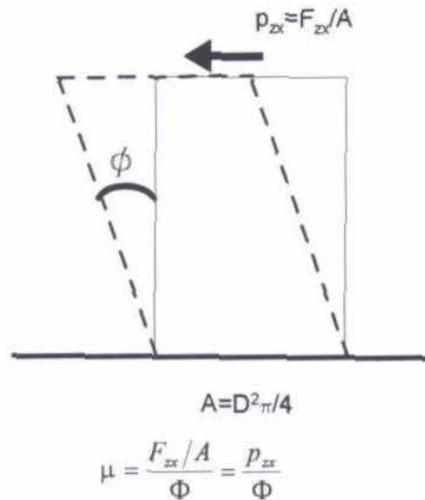
$$V_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

$$\lambda = \frac{E}{(1 + \sigma)(1 - 2\sigma)}$$

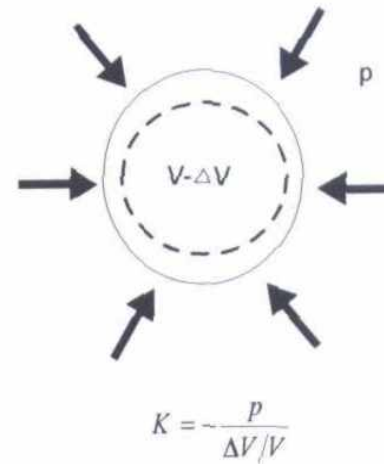
$$\mu = \frac{E}{2(1 + \sigma)}$$

Rugalmassági állandók (2)

Szilárdsági (v. nyírási modulusz) (μ) és összenyomhatósági tényező ($1/K$)



A nyírási modulusz (μ) nyíróigénybevétel mellett adható meg: a hengeres próbatestnél a tangenciális erőhatás miatti nyírófeszültség (p_{zx}) és a szögváltozás (Φ) hányadosaként.



Az összenyomhatósági tényező hidrosztatikus nyomás mellett definiálható a nyomás és a relatív térfogatváltozásváltozás hányadosaként. A K érték a térfogati rugalmassági tényező v. inkompresszibilitás. Ennek reciproka az összenyomhatósági tényező.

A megadott négy rugalmassági állandó dimenziója N/m^2 , kivéve a Poisson számét, mely dimenzió nélküli mehnnyiség. Kőzetekre a Young modulusz, nyírási modulusz és az összenyomhatósági tényező 10^{10} - $10^{11} N/m^2$ nagyságú.

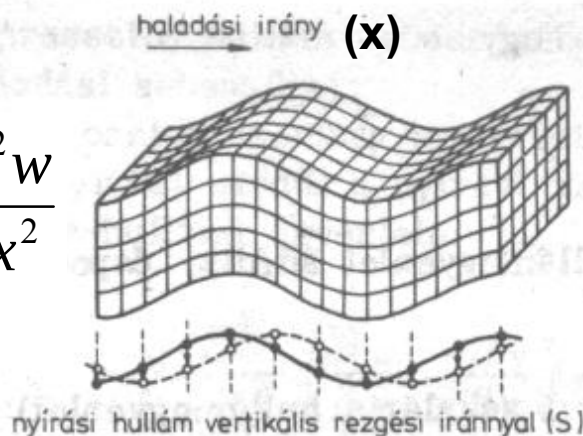
Ha a nyírási modulusz nagy, akkor az anyagot nehéz elcsavarni, nyírni. Ha az inkompresszibilitási tényező nagy, akkor az anyag ellenáll az összenyomásnak.

A rugalmas hullám az x irányban halad, az elmozdulás vektor komponensei $\vec{u}(u, v, w)$.

A kompressziós és a nyírási hullámok a testhullámok. Longitudinális hullámnál térfogatváltozás van, transzverzálisnál alakváltozás jelentkezik a nyírófeszültség miatt de térfogatváltozás nincs. A Rayleigh és Love hullámok felületi hullámok.

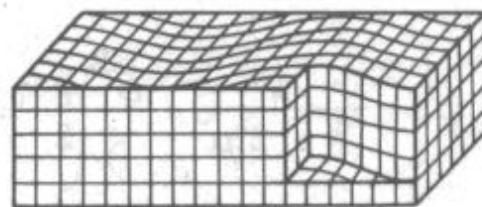
SV

$$\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = \frac{\mu}{\rho} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}$$

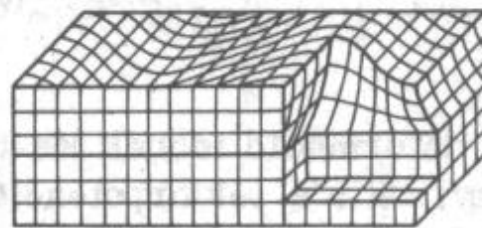
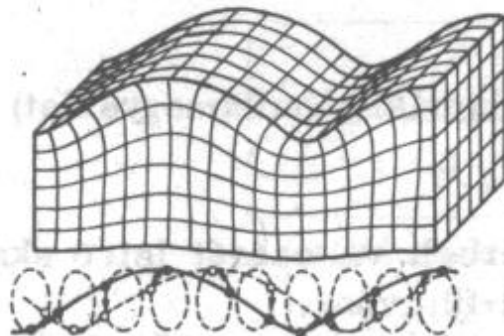


P

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\lambda + 2\mu}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$$



$$\frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = \frac{\mu}{\rho} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2}$$

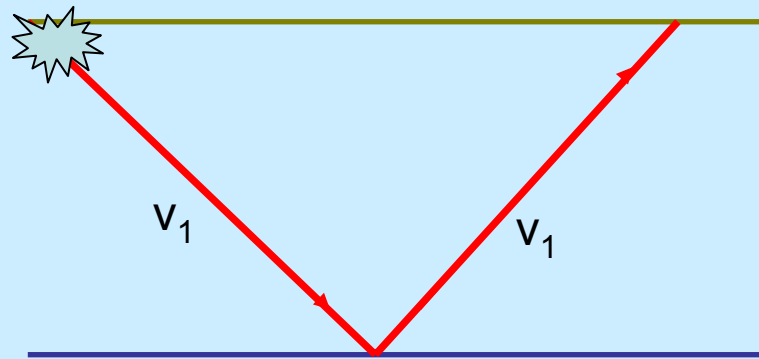


SH

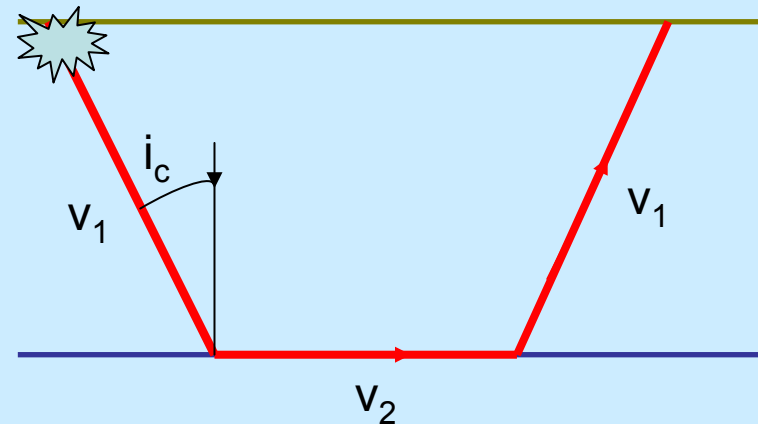
P&SV

Szeizmikus kutatómódszerek

Reflexió



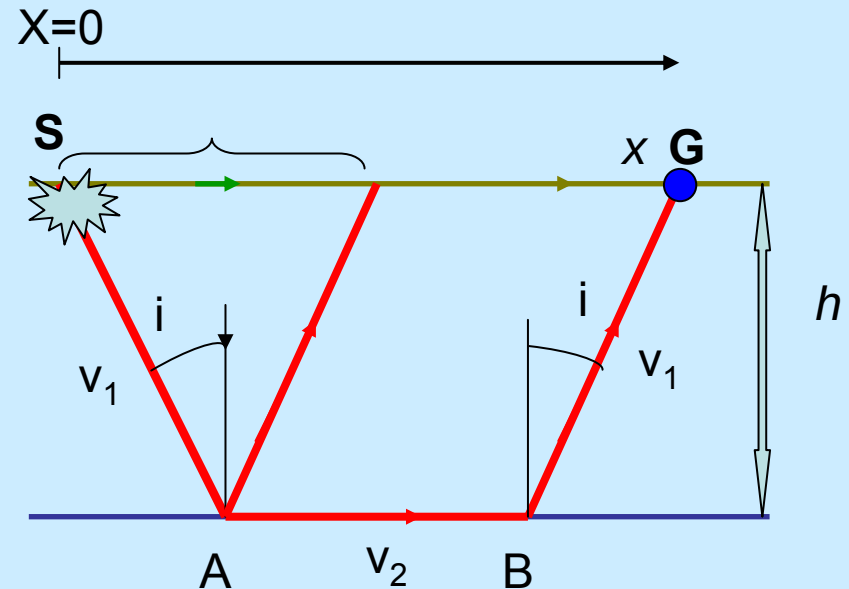
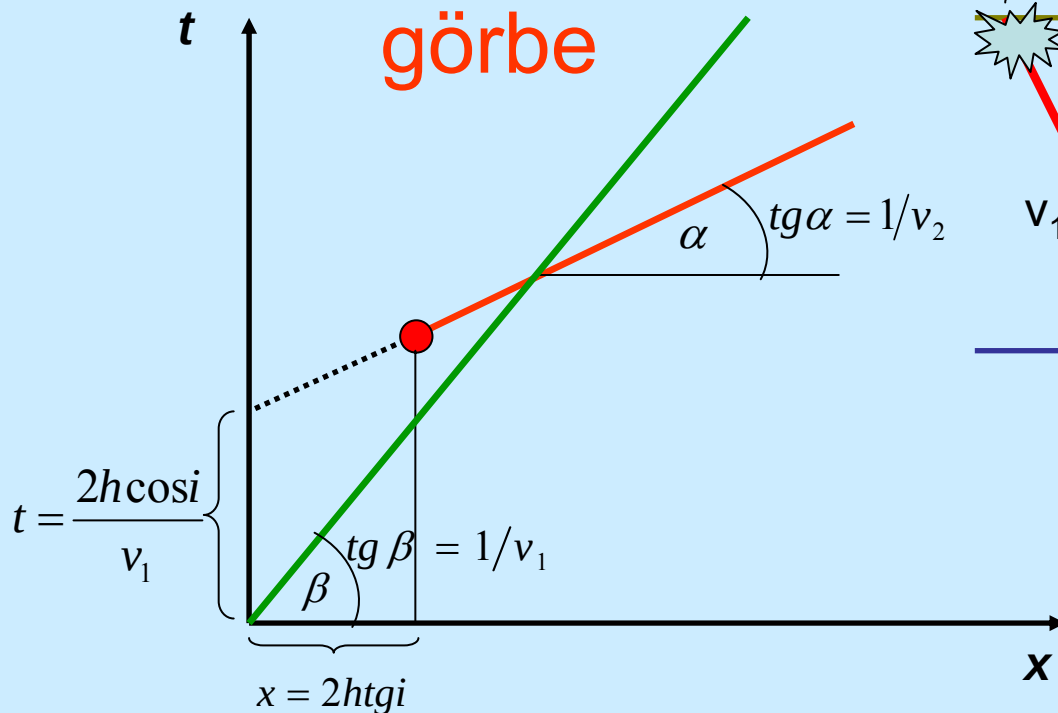
Refrakció



A reflexió két eltérő közeg érintkezése mentén alakul ki, a reflektált jel amplitúdója annál nagyobb, minél nagyobb a(z akusztikus impedancia) kontraszt a két közeg között. A refraktált hullám csak akkor jön létre, ha az alsó közegben a rugalmas hullám terjedési sebessége nagyobb mint a felsőben (az ábrán i_c a kritikus beesési szöget jelöli). A reflektált hullám menetidőgörbéje hiperbola, a refraktálté egyenes. A CH kutató szeizmikus reflexiós méréseknél a visszaverődő longitudinális hullámok beérkezési idejéből következtetnek a reflektáló felületek mélységére.

Szeizmikus kutatómódszerek

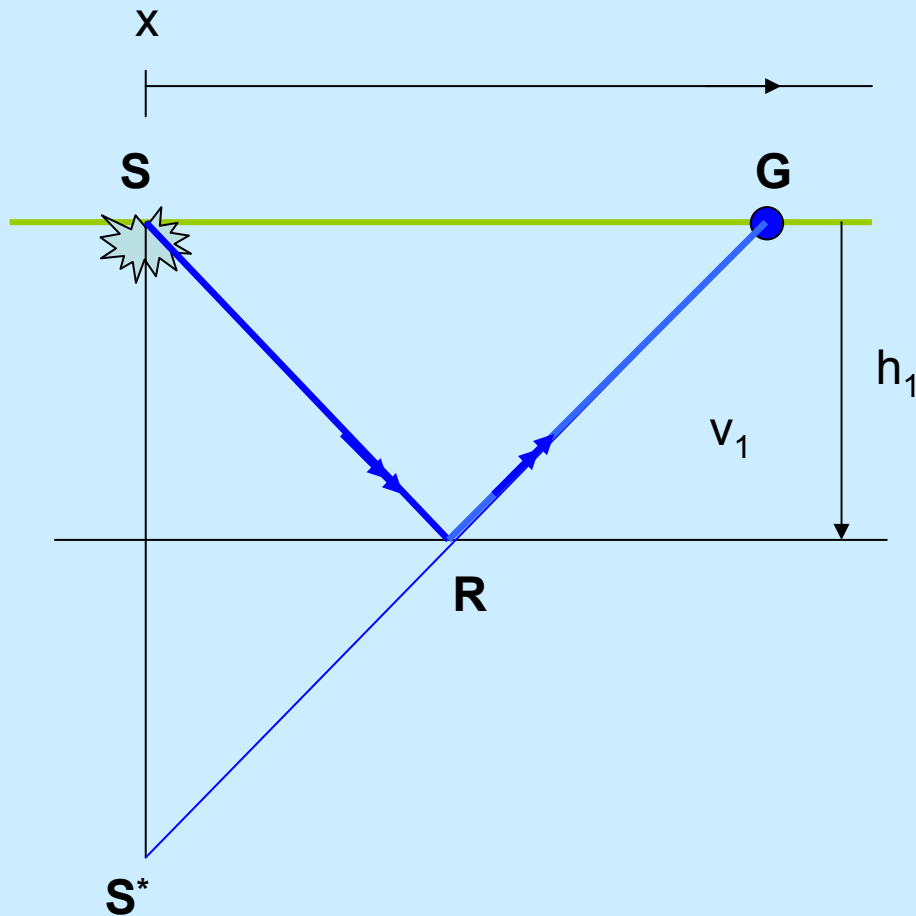
Refrakciós menetidő-görbe



A **direkt hullám menetidő-görbéje** egy olyan egyenes, melynek meredeksége fordítva arányos az első rétegbeni sebességgel: $t = x/v_1$

$$t = \frac{SA}{v_1} + \frac{AB}{v_2} + \frac{BG}{v_1} = \frac{2h}{v_1 \cos i} + \frac{x - 2htgi}{v_2} = \frac{x}{v_2} + 2h \left(\frac{1}{v_1 \cos i} - \frac{\sin i}{\frac{v_1}{\sin i}} \right) = \frac{x}{v_2} + 2h \left(\frac{1}{v_1 \cos i} - \frac{\sin^2 i}{v_1 \cos i} \right) = \frac{x}{v_2} + \frac{2h \cos i}{v_1}$$

Reflexiós menetidő-görbe horizontális réteghatár esetén

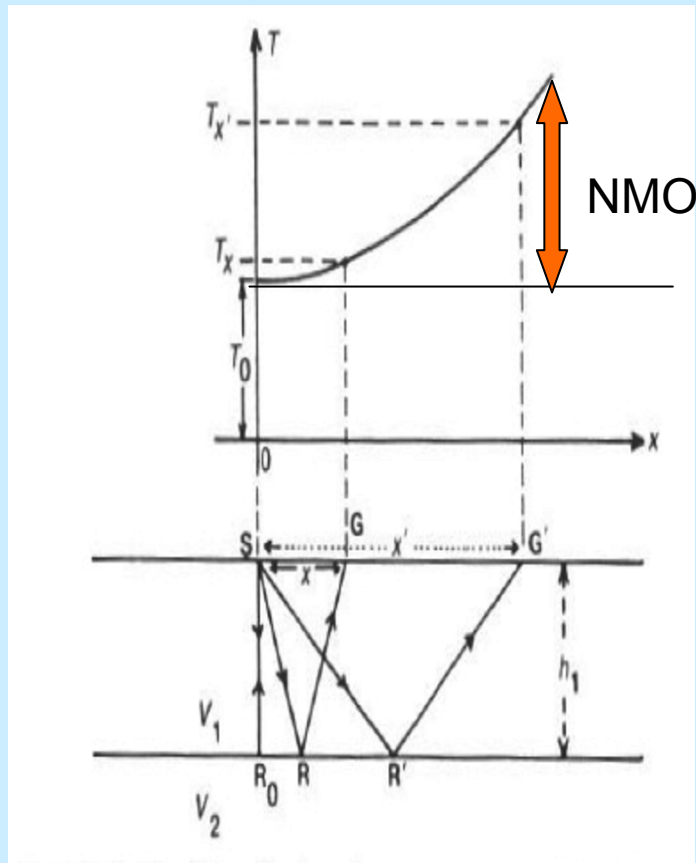


Az S^* pont az S robbantópont tükörképe a felszínnel párhuzamos h_1 mélységben lévő határfelületre. Emiatt az SR és RG sugárutak összege megegyezik S^*G -vel. Pythagoras-tételét alkalmazva az SS^*G háromszögre, majd az egyenlet mindkét oldalát $(v_1)^2$ -el elosztvakapjuk, hogy

$$\frac{4h_1^2}{v_1^2} + \frac{x^2}{v_1^2} = \frac{(S^*G)^2}{v_1^2} = t^2$$

A menetidőgörbe hiperbola, melynek aszimptótája a direkt hullám menetidőgörbéje.

Reflexiós menetidőgörbe horizontális réteghatár esetén

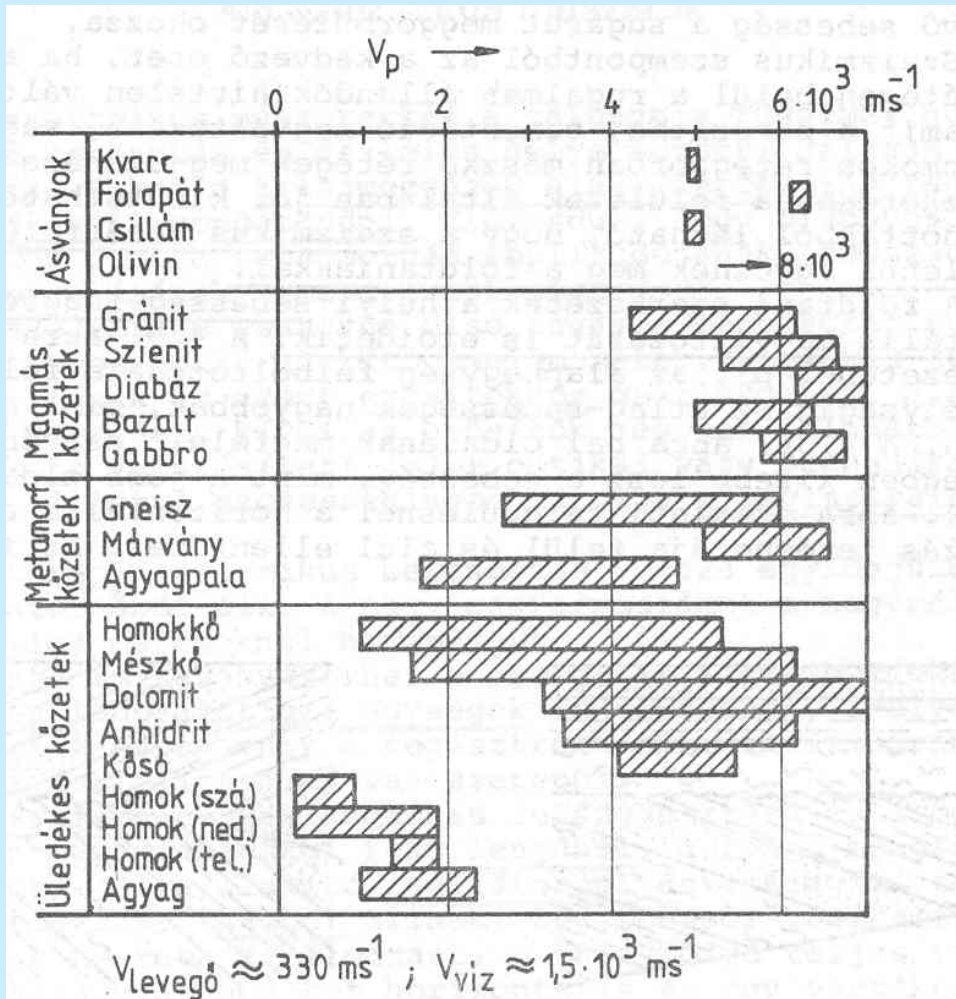


$$t^2 - \frac{x^2}{v_1^2} = \frac{4h_1^2}{v_1^2}$$

A menetidőgörbe hiperbola, melynek aszimptotája a direkt hullám menetidőgörbéje.

Az NMO (normal move out) időkülönbség a mérési elrendezésből adódik.

Reflexiós módszer



A kőzetekben a rugalmas hullám terjedési sebessége függ a kőzet minőségétől. Porózus képződményeknél függ a porozitás mértékétől, és a pórust kitöltő anyagtól is.

A szeizmikus kutatásoknál 10Hz és néhányszor 100Hz közötti a gerjesztő frekvencia.

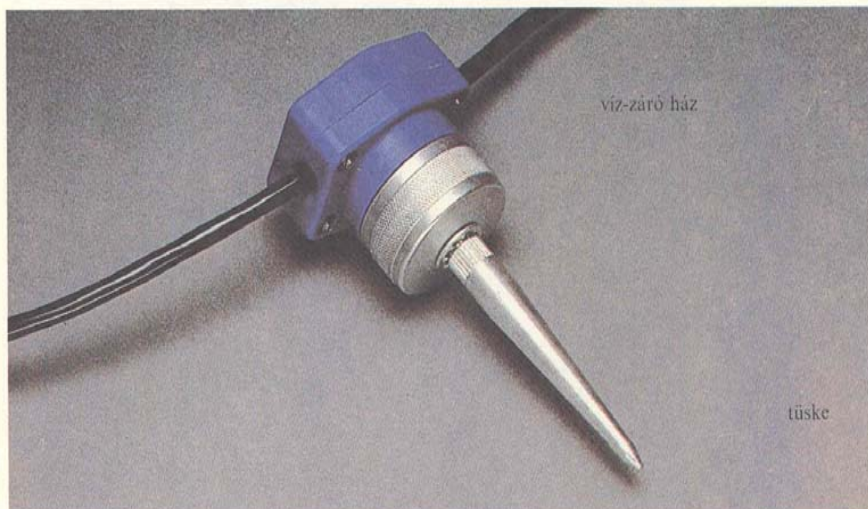
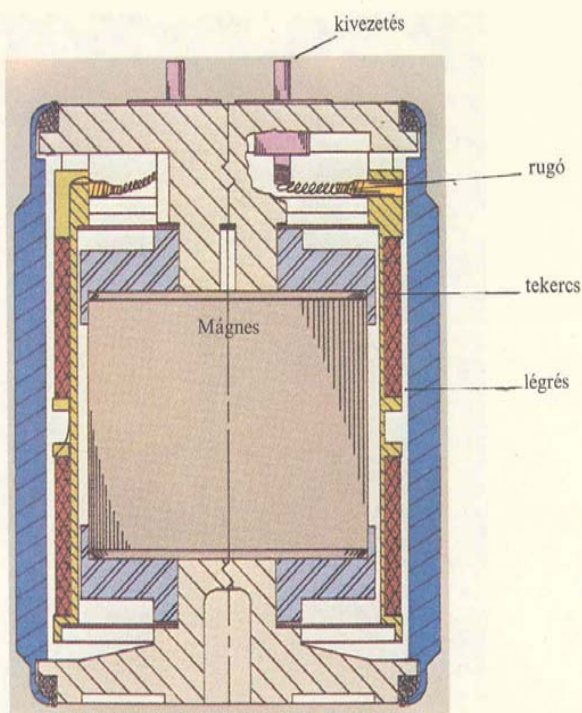
$$\lambda = \frac{v}{f}$$

A hullámhossz nagysága a felbontóképességet határozza meg. A v a rugalmas hullám terjedési sebessége a kőzetben, a frekvencia jelölése f .



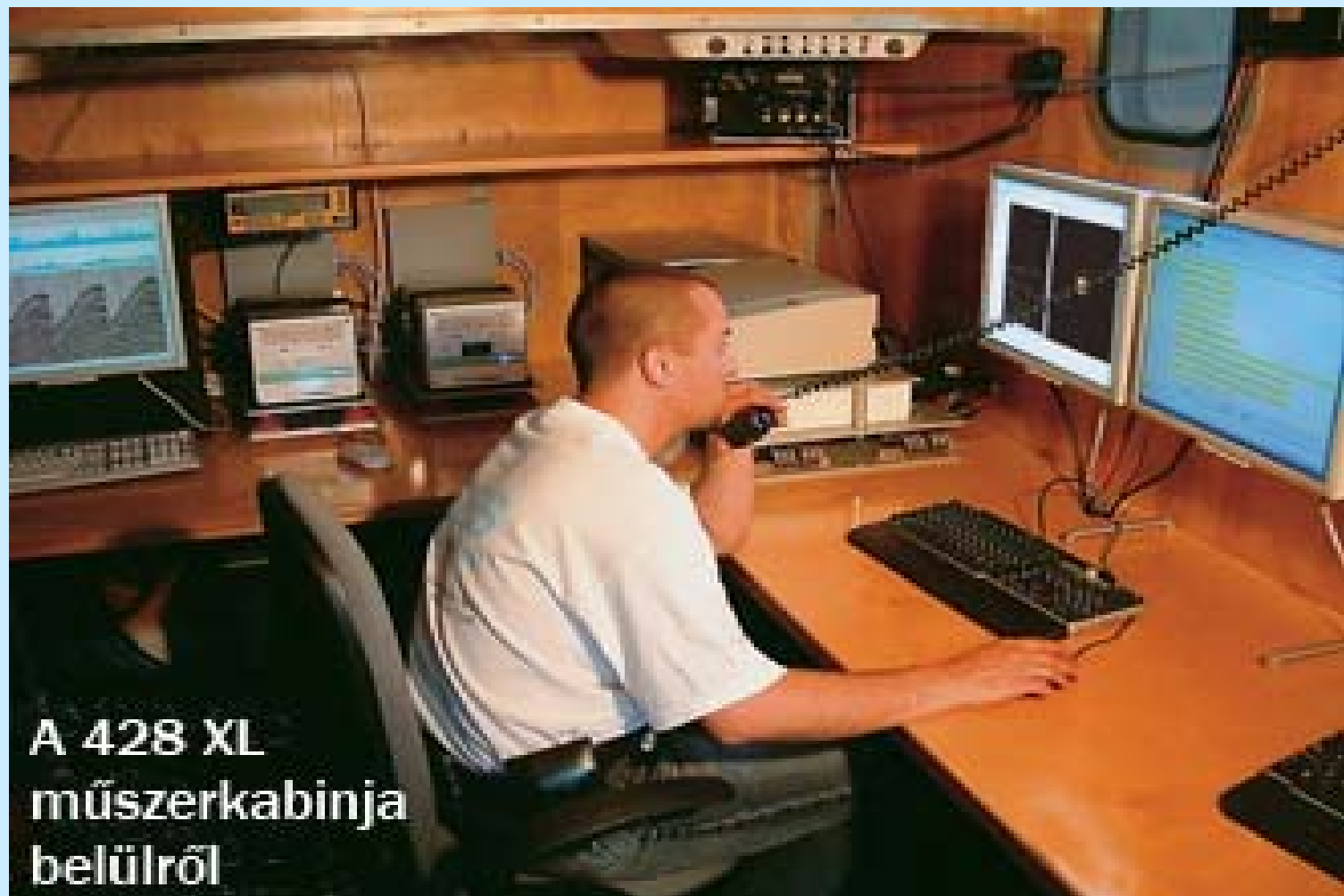
A vibrátorok lelke a jármű közepén függőlegesen elhelyezett szilárd keret, melynek asztallapszerűen kiképzett alsó része leeresztve a talajra nyomható. A keretben mozgatható le-föl, időben folyamatosan változó (6-200 Hz-es) frekvenciával egy kb. 2,5 tonnás acéltömb. A rezgő tömeg mozgatását egy 210 bar nyomáson működő, nagy teljesítményű hidraulikus berendezés végzi. A tömb mozgásának vezérlése meghatározott program szerint, rádió távirányítással történik, pontosan szinkronizálva mind a négy vagy öt, szorosan egymás nyomában haladó vibrátort. Ezek - kis időre megállva, a vibrátor alaplajját leeresztve és a talaj felszínére nyomva - mintegy 10-15 másodperc hosszú rezgéscsomagot bocsátanak a földbe.





Egykomponensű (vertikális) geofonok. A tekercs sarkain indukált feszültség időbeli változása arányos a talajelmozdulás időbeli változásával (v. a talajelmozdulás sebességével, ill. annak gyorsulásával a geofon sajátfrekvenciájától függően).

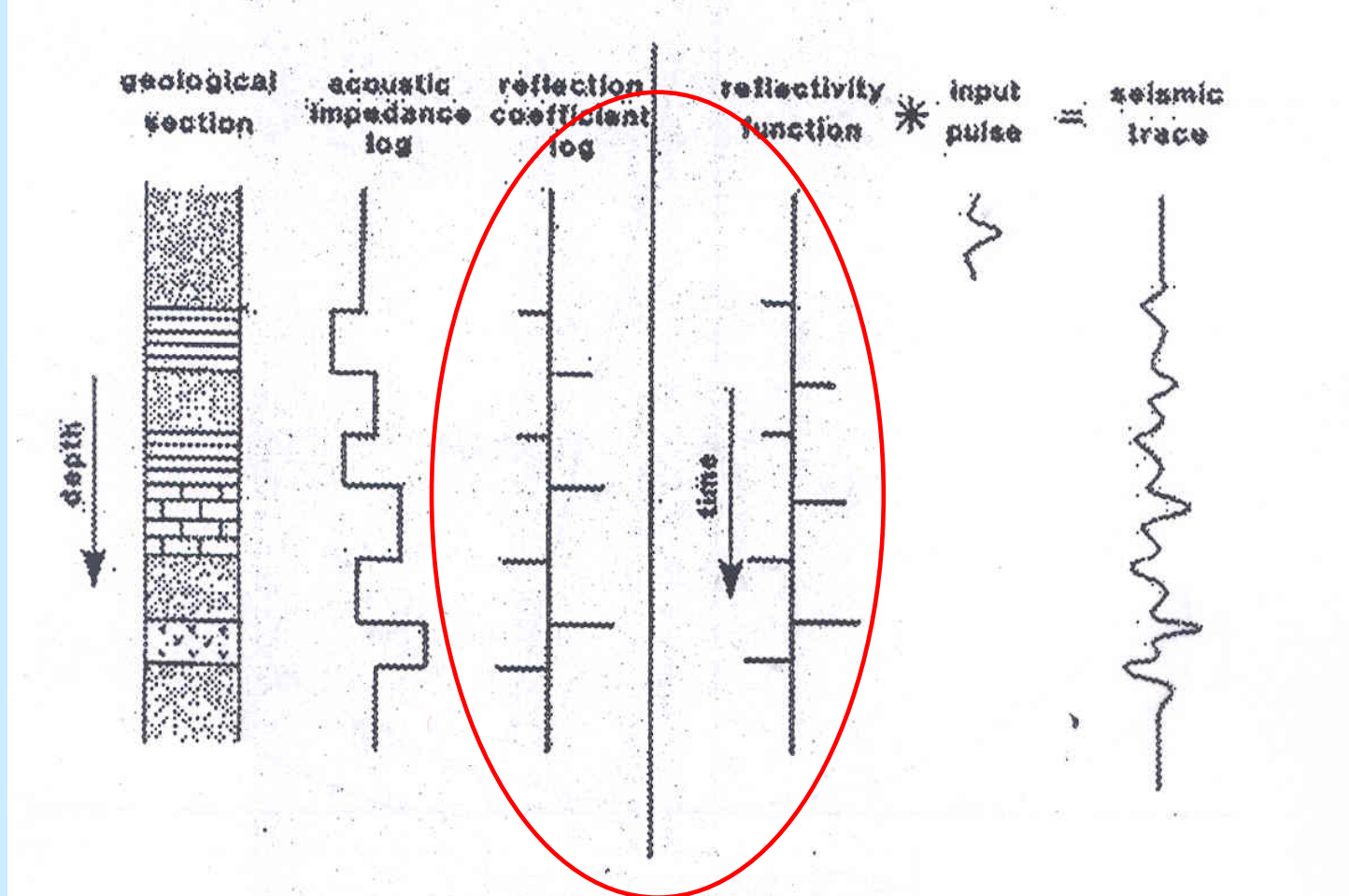
Forrás: Ádám O. (1987)



**A 428 XL
műszerkabinja
belülről**

A jelenleg legmodernebb telemetrikus terepi műszer, kábelbe beépített FDU dobozokkal, melyek minden egyes geofon-fűzér analóg jelét helyben digitálissá alakítja, a kábeleken már csak digitális adatforgalom van (gyártó: Sercel, Franciaország).

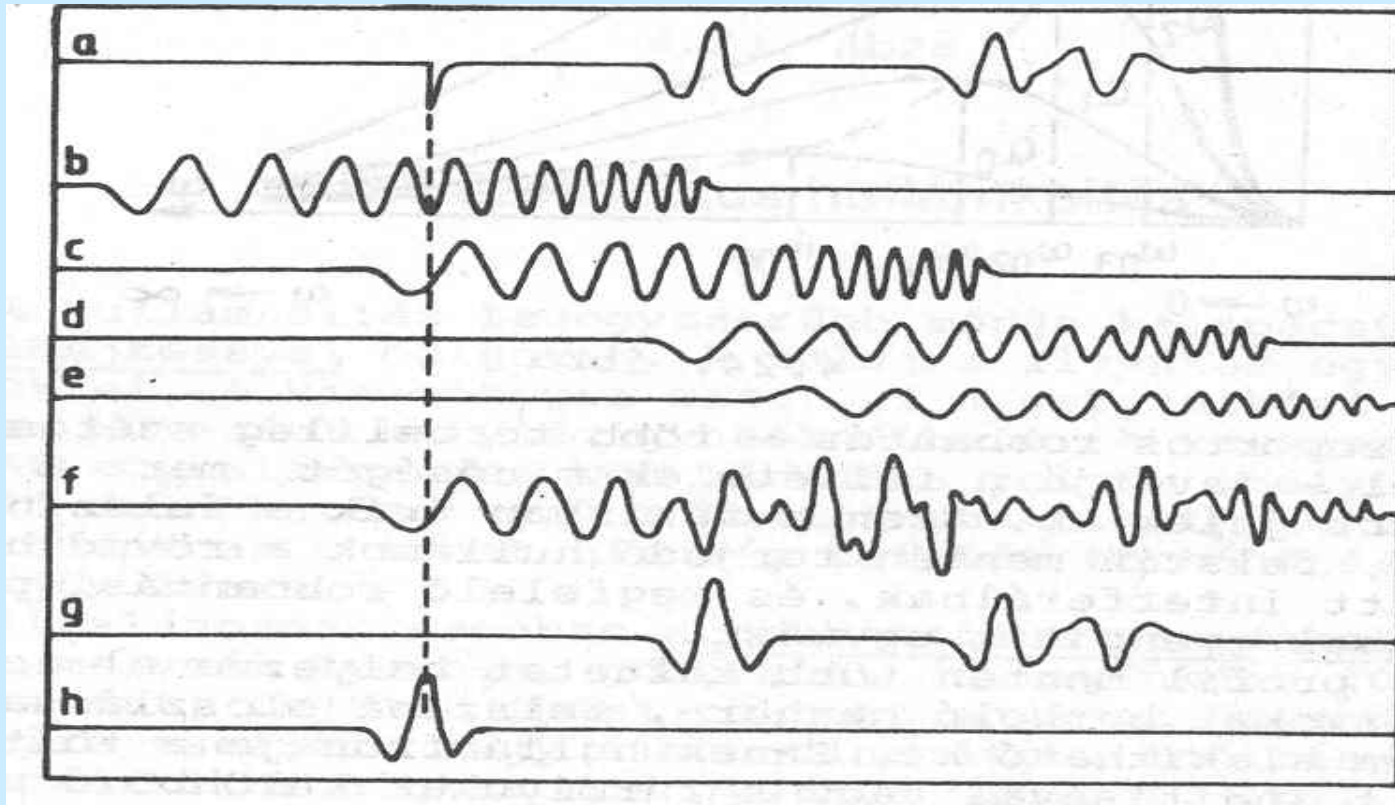
A műszer 3D-s méréseknél alkalmazható, kapacitása bővíthető 10000 csatornára. Mind robbantásos, mind vibrátoros jelgerjesztés esetén alkalmazható.



A szeizmikus csatorna jele (seismic trace) a reflexivitás (reflectivity function) és a gerjesztő jel (input pulse) konvolúciója. A reflexiós tényező (R) az egymással kontaktusban lévő kőzetek akusztikus impedanciáinak (Z) különbségével arányos. Az akusztikus impedancia a kőzet sűrűségének és a benne haladó rugalmas hullám terjedési sebességének a szorzata. A feladat a reflexivitás-függvény (reflectivity function) visszaállítása a mért szeizmikus csatorna jelből (seismic trace).

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} = \frac{\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1}{\rho_2 v_2 + \rho_1 v_1}$$

Vibroseiz eljárás



a: három reflektáló felületről beérkező reflexiók impulzusszerű gerjesztő jelnél

b: a vibrátor változó frekvenciájú jele

c, d, e: a három reflektáló határfelületről beérkező jel elméletileg

f: a három reflektáló felületről beérkező jel eredője (amit mérünk)

g: b alapjel és f regisztrált jel keresztkorrelációja, ami az a esethez tartozó regisztrátumhoz hasonló eredményre vezet

h: a robbantás időpillanatának meghatározása a b alapjel autokorrelációja révén

Reflexiós módszer

Az a cél, hogy a feldolgozott mérési anyag a lehető legjobban tükrözze a geológiai felépítést. Ennek érdekében

- erősítik a csatorna jeleket (AGC)
- sztatikus korrekciót,
- horizontális összegzést (stacking)
- dinamikus korrekciót (NMO),
- dekonvolúciós- és sávszűrést végeznek
- migrált szelvényt állítanak elő.
- a szeizmikus reflexiós időszelvényt mélységszelvénné transzformálják.

Erősítés (AGC)

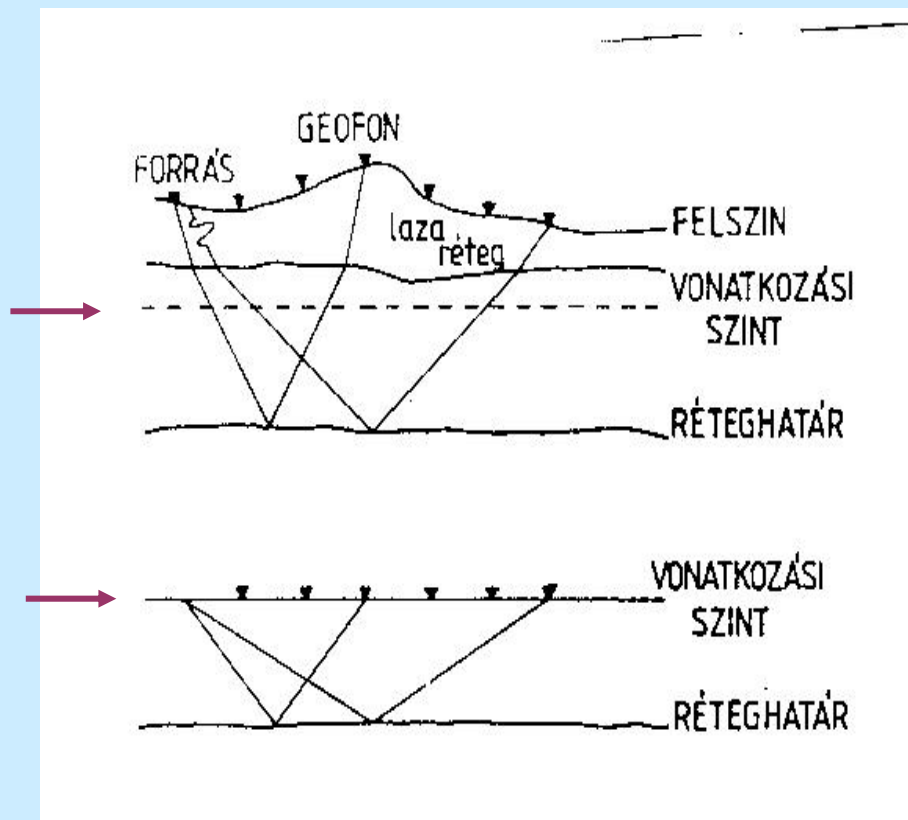
A rugalmas hullám energiája a mélységgel exponenciálisan és a távolság első hatványával fordítottan csökken homogén féltér esetén.

A szeizmikus csatorna jelének erősítésére a gömbi szóródás, az elnyelődés és a reflexiós veszteségek miatt van szükség. A rugalmas hullám energiája lefelé haladva ugyanolyan mértékben csökken mint felfelé. Az optimális megjelenítés érdekében az ily módon előálló jelcsökkenést kompenzálni kell.

Minél mélyebbről verődik vissza a jel, általában annál nagyobb erősítésre van szükség annak érdekében, hogy a reflexiók közel azonos amplitúdóval jelentkezzenek.

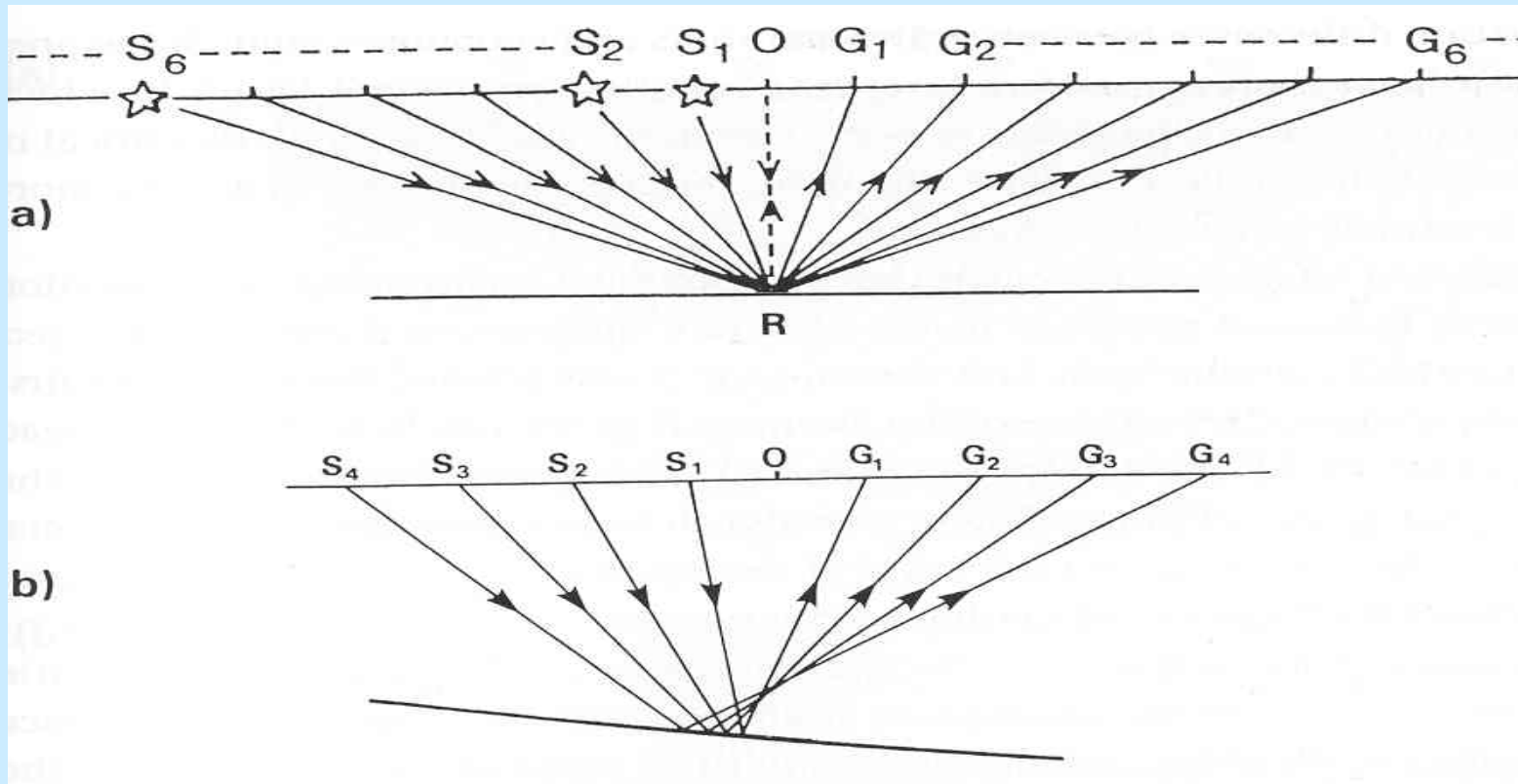
Automatikus erősítés szabályozás (AGC automatic gain control) a beérkező jelek intenzitásához alkalmazkodó mérés közbeni erősítés, mely a jel amplitúdója alapján automatikus szabályozott.

Sztatikus korrekció



Azért végzik el, hogy a topográfia, másrészt a felső, laza, kis sebességű réteg szeizmikus hatásától a mérési eredményeket megszabadítsák (ennek eredményeként a forrás és a geofonok is ugyanarra a vízszintes helyzetű vonatkozási szintre kerülnek, függőleges levetítés révén).

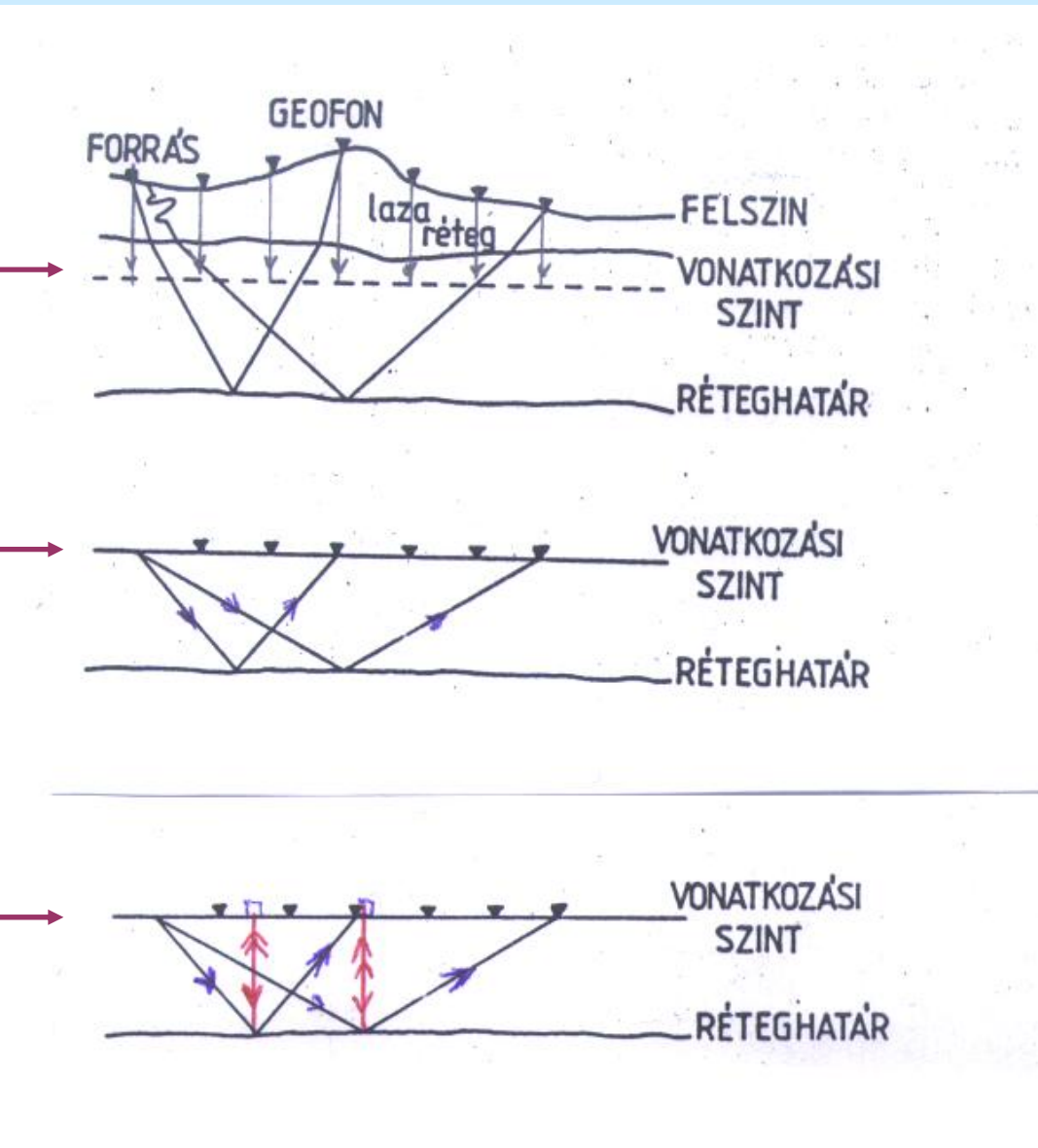
Horizontális összegzés (STACKING)



Sharma
1997

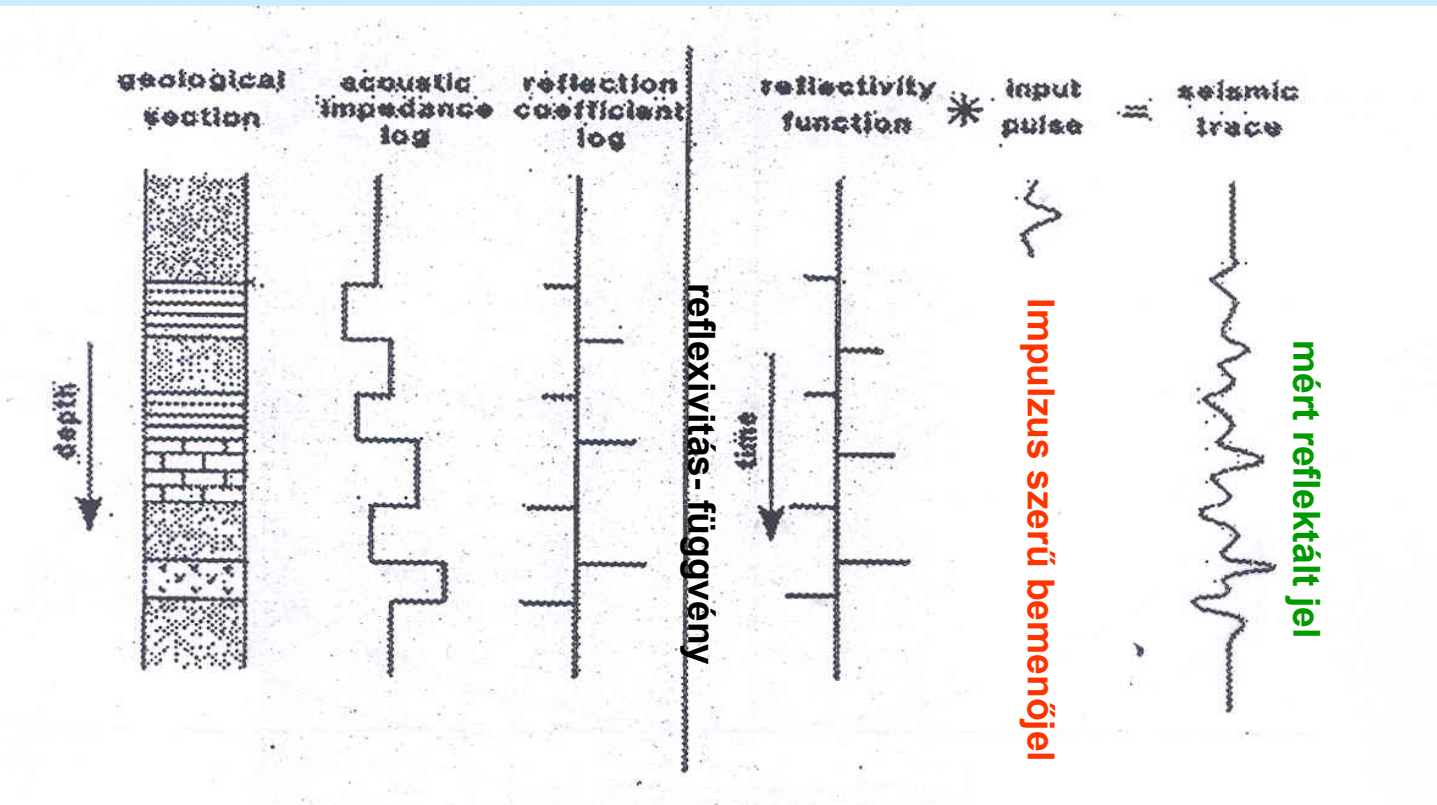
A többszörös fedésű mérési rendszerben horizontális réteghatár esetén mindig található több olyan összetartozó forrás(S) geofon(G) pontpár, melyeknél a reflexiók egy közös mélységi pontból-a) ábra R pontja- származnak. **A közös középpontú (CMP) elrendezések** -az ábrán az O ponthoz tartozóak- **csatorna jeleinek összegzésével a jel/zaj viszony javítható.** Ezt a horizontális összegzést kis dőlést mutató határfelület esetén (amikor nincs közös mélységpont) is érdemes elvégezni, ui. a din. korrekció elvégzése után az összegzés az azonos fázisú reflexiókat kiemeli, míg a zajokat gyengíti. (Common depth point stacking, CDP)

Dinamikus korrekció



Ennek elvégzésével olyan elképzelt mérési helyzet áll elő (lásd alsó ábra), mintha a vonatkozási szinten, ugyanazon pontban elhelyezkedő robbantópont & geofonpont elrendezéssel mérnénk. Valójában **a robbantópont geofonpont közti geometriai helyzetből adódó beérkezési idő eltéréstől szabadítják meg a mérési eredményeket.** Ezt nevezik NMO (normal move out) korrekciónak. **SEBESSÉGANALÍZIS** fontossága.

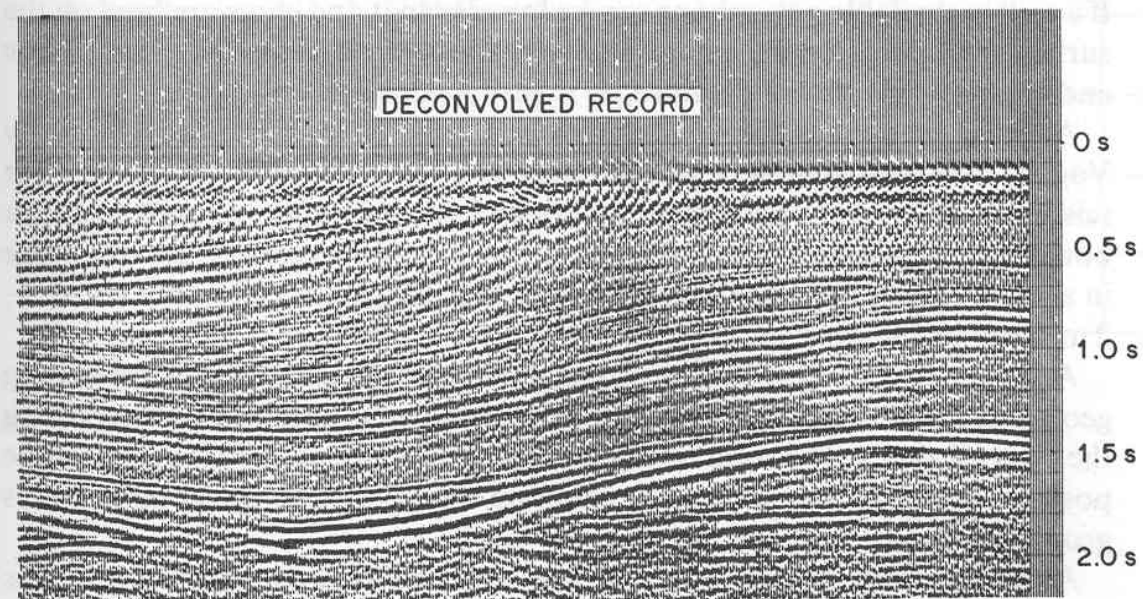
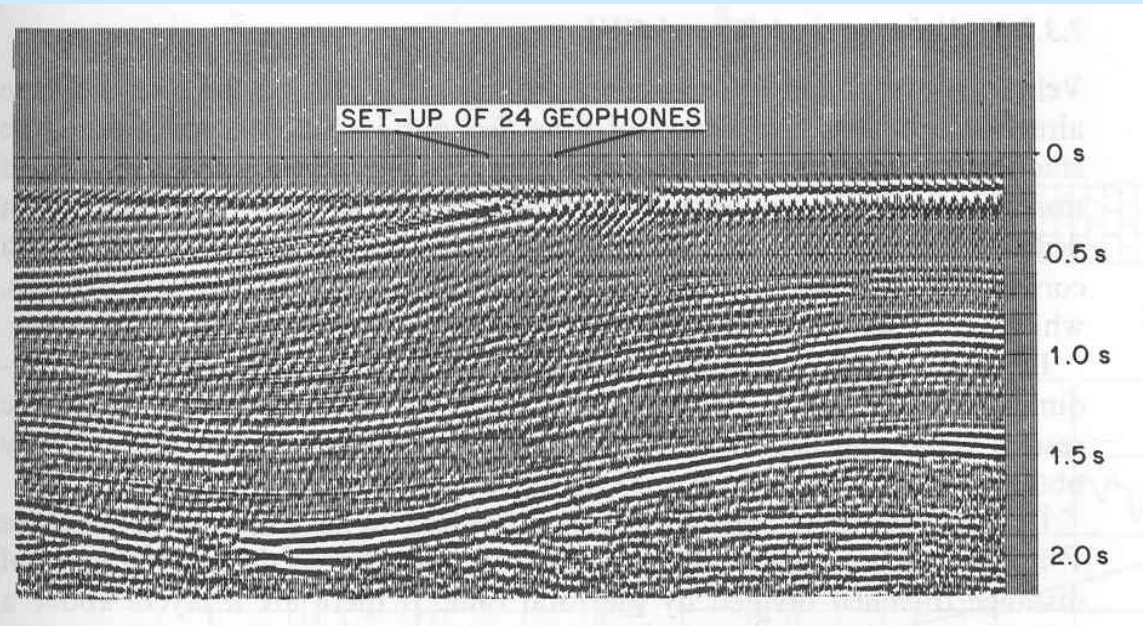
Dekonvolúciós szűrés



Az a szűrési művelet, mellyel a mért reflektált jelből kinyerjük a reflexiók együttthatók beérkezési idő szerinti eloszlását.

A **szeizmikus csatorna jele** a reflexivitás-függvény és a **gerjesztő jel** konvolúciója. A szeizmikus csatorna jelének dekonvolúciója révén kapjuk meg a keresett reflexiók koefficiens eloszlást. A dekonvolúciós szűrésnek legfontosabb feladata, hogy eltávolítsa a földtani képződményeknek az impulzusszerű bemenőjelre kifejtett simító hatását a jelalak összehúzásával. További feladat a többszörös reflexiók eltávolítása (Wiener-féle szűrő), a hasznos frekvenciatartomány kiemelése (sávszűréssel).

Dekonvolúciós szűrés



**A dekonvolúció
eredményeként a
reflexiók
markánsabban
jelentkeznek.**

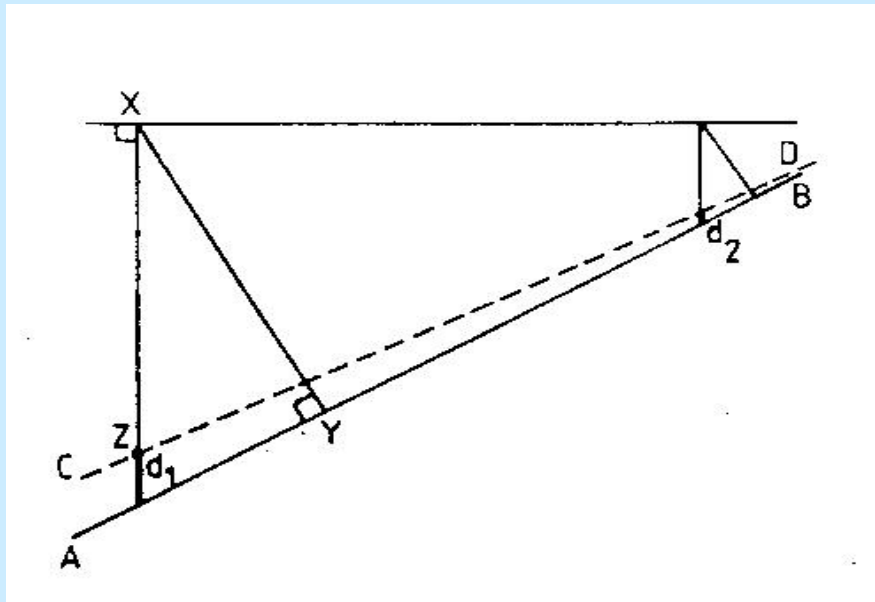
Forrás: Parasnis 1986

Migráció

Ha a statikus és dinamikus korrekciót követően a szeizmikus reflexiós időszelvényen dőlt vagy görbült reflektáló szint(ek) marad(nak), akkor ez(eke)t a geometriailag helyes pozícióba kell transzformálni az időszelvényen.

Ezt az eljárást migrációnak nevezzük, eredményként migrált szelvényt kapunk.

Migráció dőlt határfelület esetén



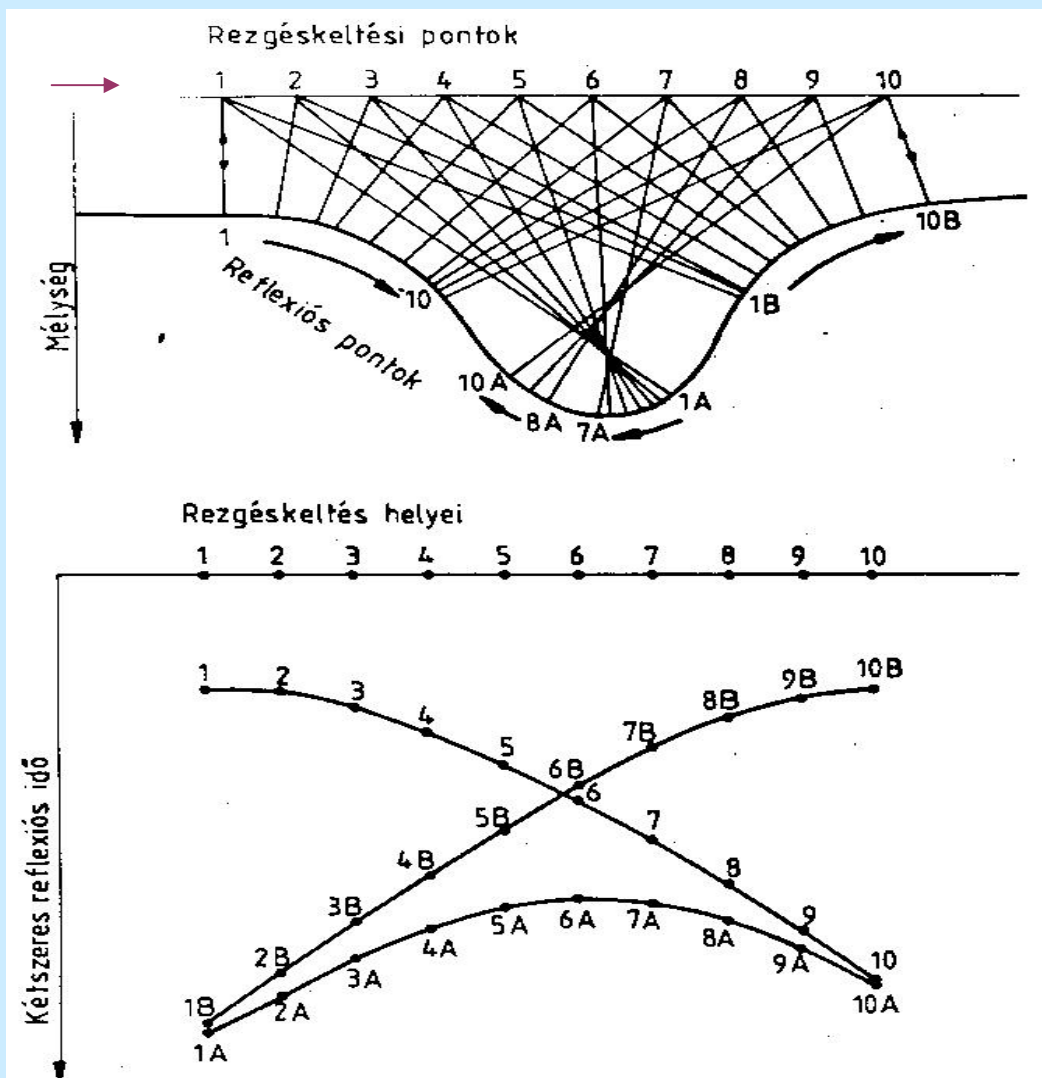
A közös robbantópont-geofonpontba (pl. X-be) érkező jelet függőleges sugárút menti hullámterjedésként tekintettük, ennek eredménye a szaggatott vonallal megadott reflektáló határfelület. A valóságban egy félgömb- az ábránkon egy félkör – pontjainak bármelyikéből származhat a reflexió.

Geometrialig szemléltetve a megoldás (síkban) a félkörök közös érintője, amit a folytonos vonal mutat.

Migráció görbült határfelületek esetén

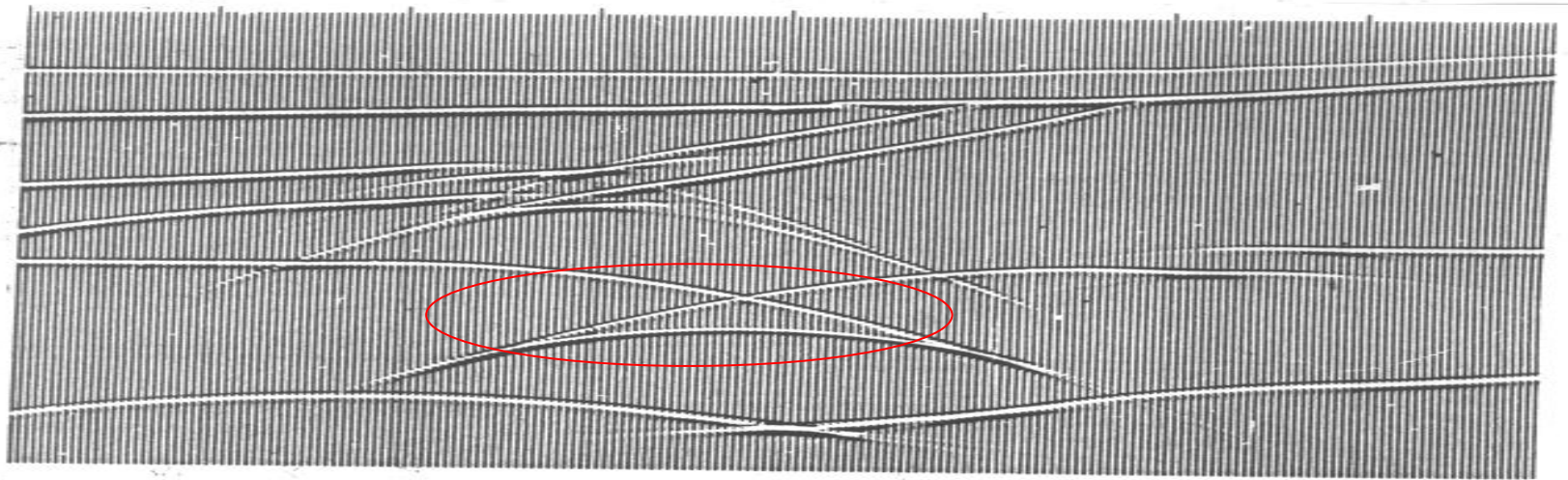
A rezgéskeltési pontok egyúttal észlelési helyek is.

A modell egy hosszan elnyúlt szinklinális. Minden egyes beérkezést első közelítésben úgy dolgozunk fel, mintha a közös robbantópont & geofonpont alatt a hullám függőlegesen haladna lefelé és ugyanezen az úton, önmagába visszaverődve vertikálisan érkezne be. Ekkor jön létre a „nyakkendő megkötött része” az alsó ábrán. A migrált szelvény fogja mutatni a szinklinális szerkezetet.

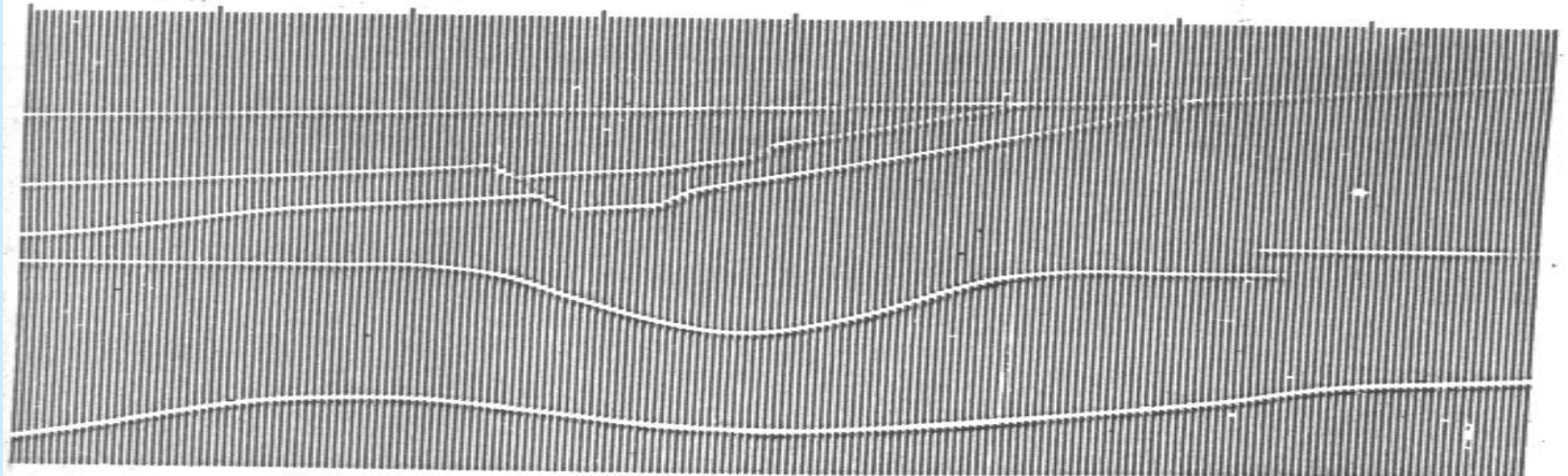


Migráció görbült határfelületek esetén

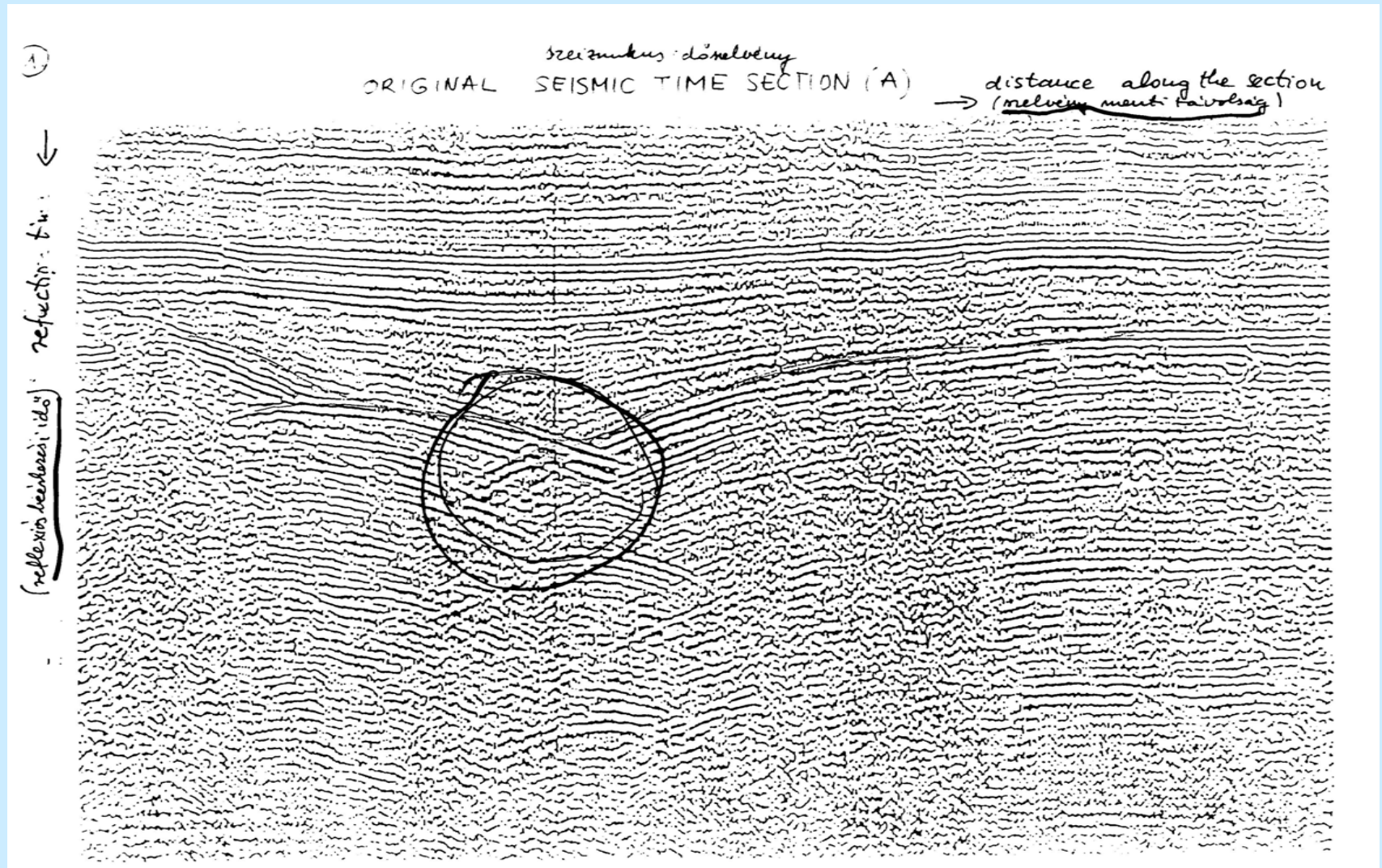
Szintetikus összeg-szelvény



Migrált szelvény

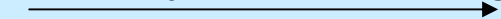


Migráció görbült határfelületek esetén

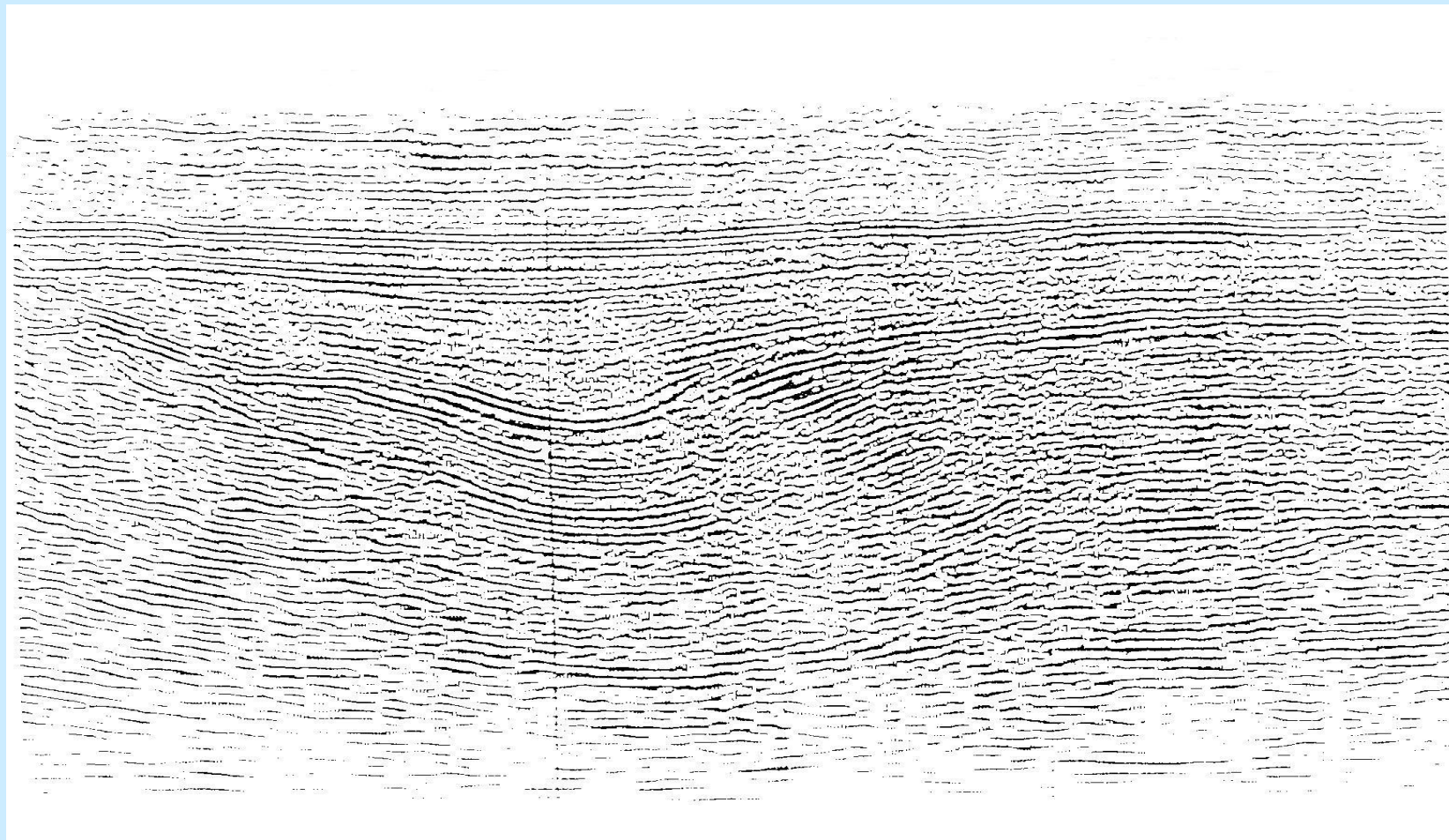


Migráció görbült határfelületek esetén

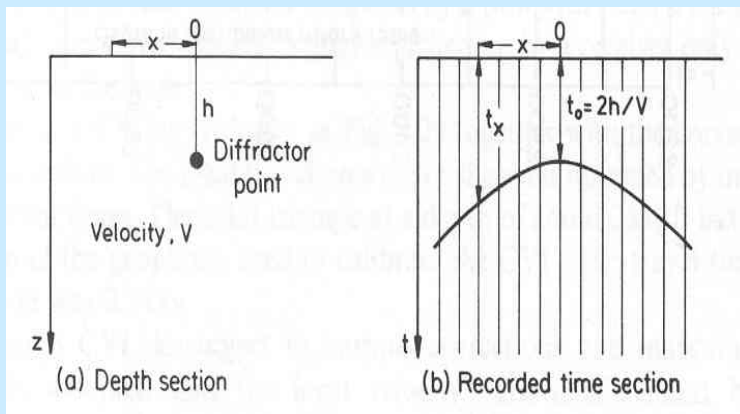
szelvény menti távolság



t

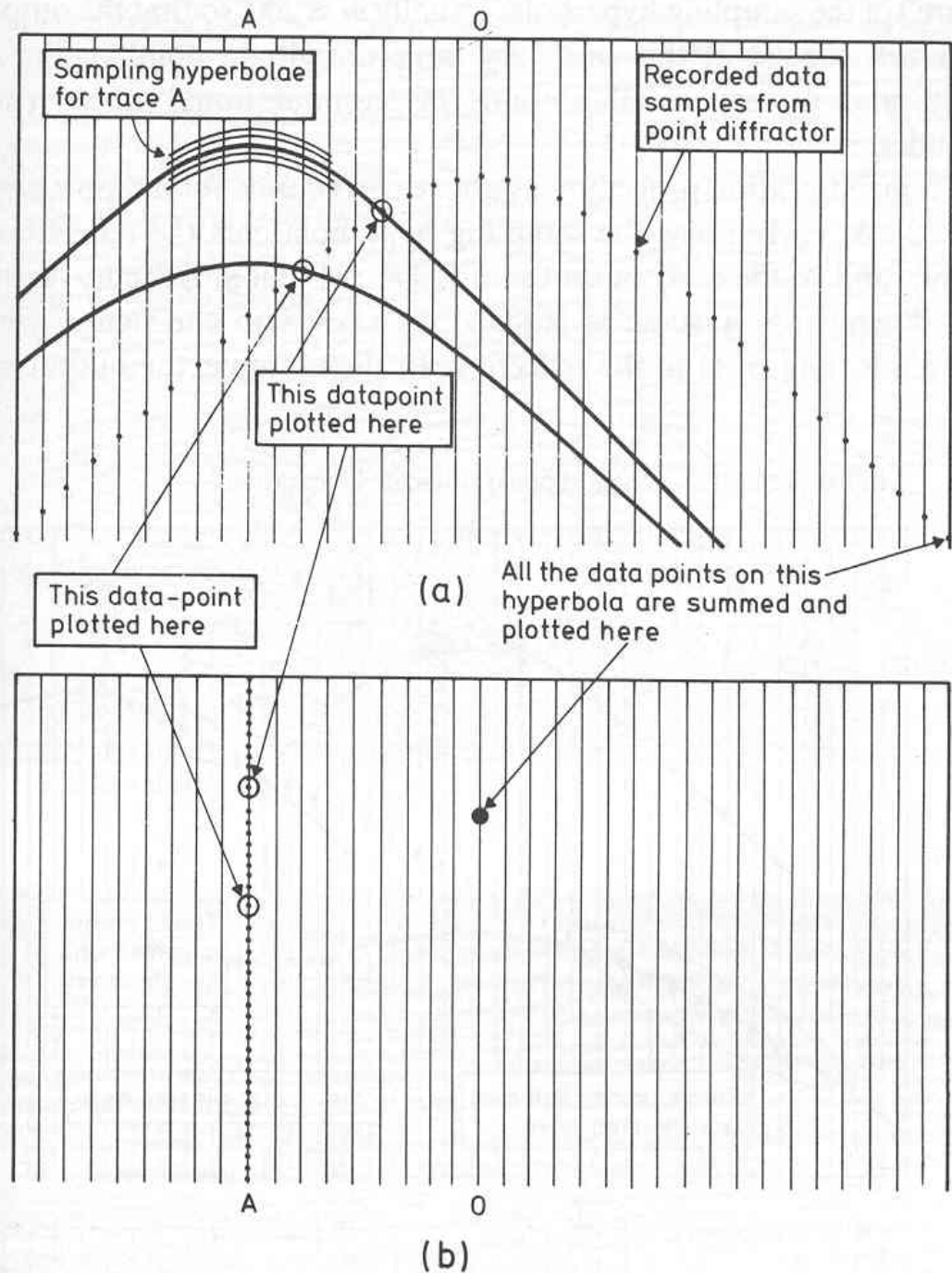


Az előző szeizmikus szelvényből meghatározott migrált szelvény, mely a geometriailag helyes leképezést adja a reflexiós szeizmikus időszelvényen.

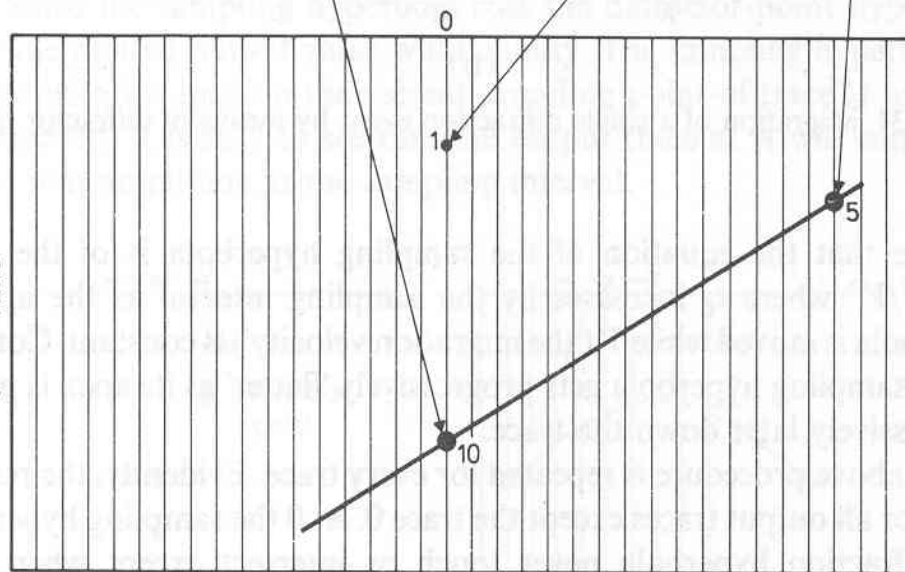
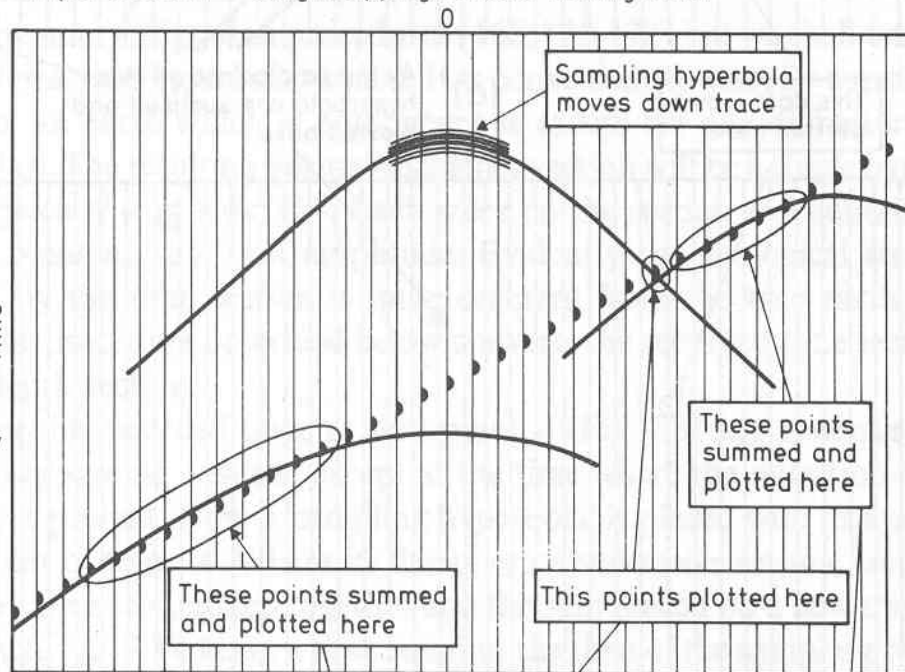


**Egyetlen diffraktáló pont
diffrakciós hiperbolát
eredményez.**

**Az egyes csatornákra
hiperbolák mentén
összegezve az adatokat, a
diffraktáló pont helyzete
meghatározható.**



Input section Single dipping reflector (unmigrated)

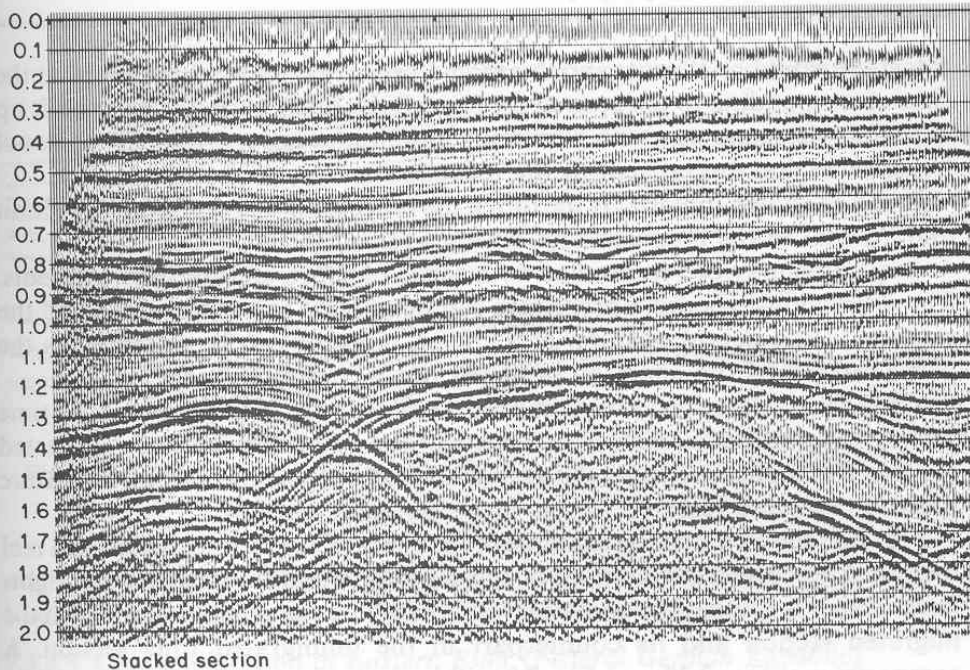


Output section Single dipping reflector (migrated)
plus computational noise

Kirchhof-migráció alkalmazása egyetlen dőlt határfelület esetén Parasnis 1986 alapján.

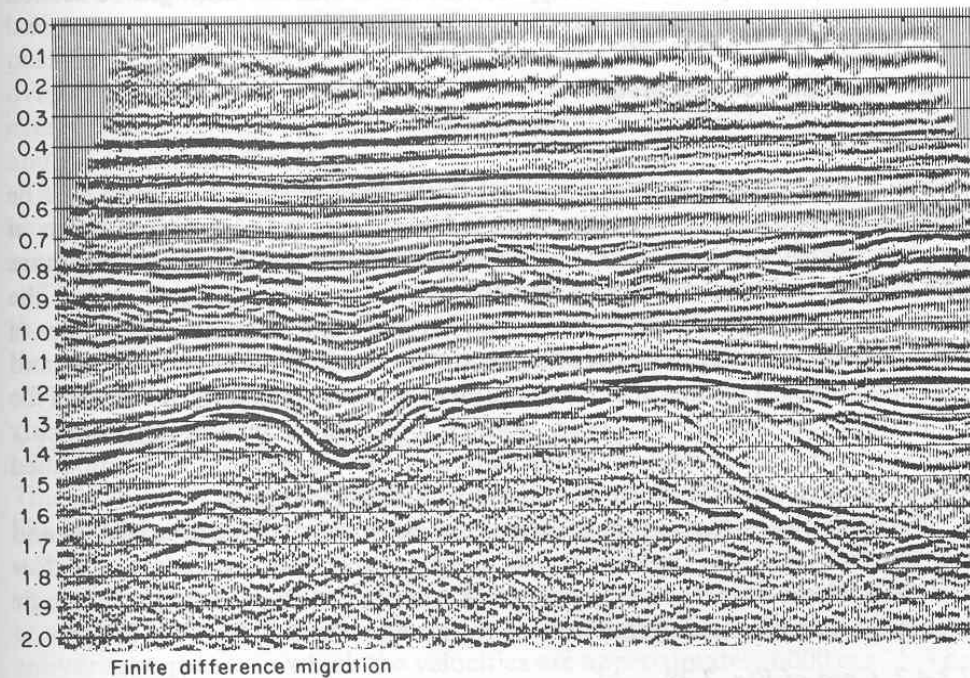
Minden reflektáló felület diffraktáló pontokból építhető fel. Az egyes csatornákra kereső hiperbolák mentén összegezve az adatokat, a diffraktáló pontok helyzete a szeizmikus időszelvényen meghatározható , így a dőlt határfelület tényleges helyzete is a szeizmikus időszelvényen .

A számok az alsó ábrán a kereső (mintavételező) hiperbolák és a szeizmikus időszelvény közös pontjainak a számát mutatja, a dőlt határfelület tényleges helyétől eltekintve a metszéspontok száma 1 lesz.

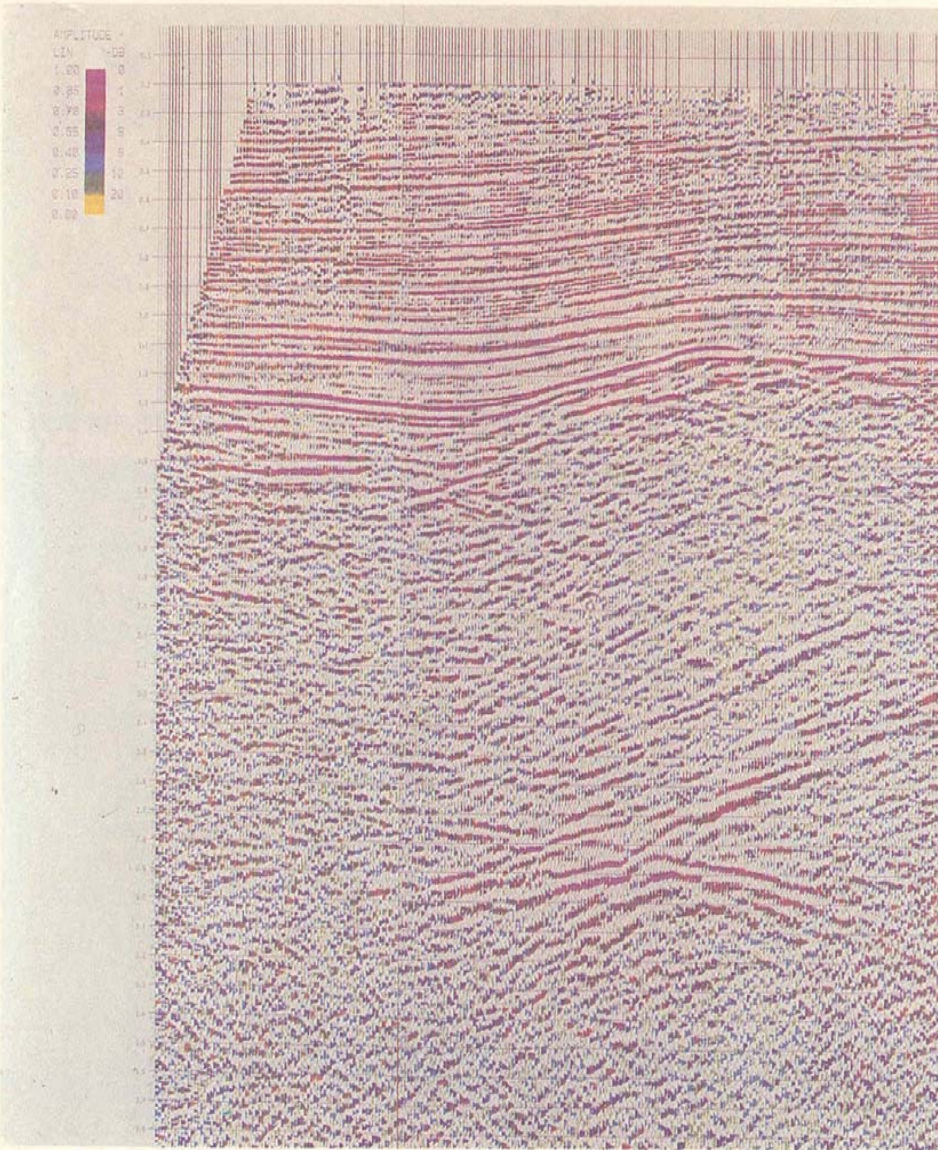


**Dőlt határfelület jobb oldalt,
szinklinális szerkezet 1.41 sec-nál.**

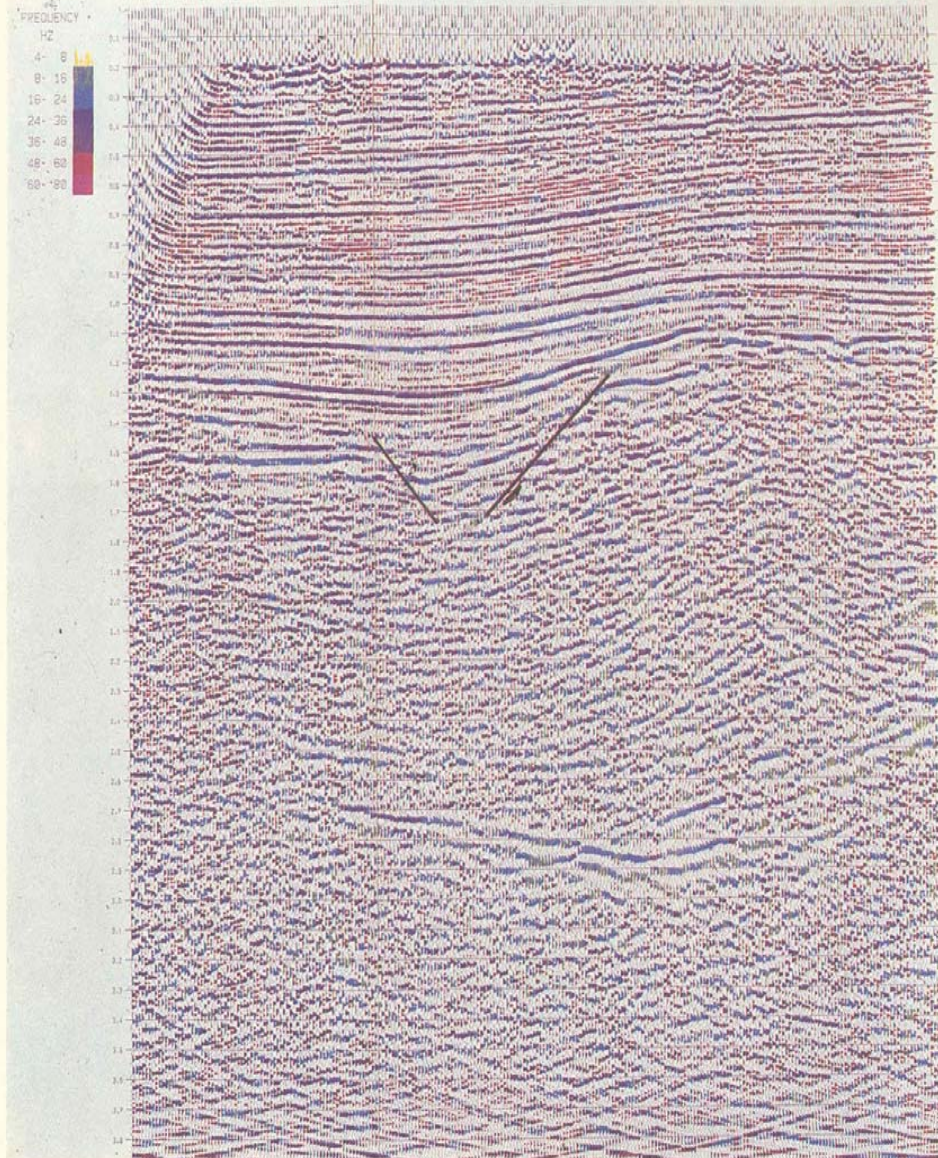
**A felső a horizontális összegzés
(stacking) utáni szelvény, az alsó
a migrált szelvény.**



**Parasnis, 1986, Prakla Seismos
alapján.**



11.40. ábra: Időszelvény (amplitúdó színezett, migrálatlan, ELGI)



11.38. ábra: Színes szelvényíron kijátszott 10-80 Hz sávban szűrt időszelvény frekvencia szerinti színezéssel (migrált, ELGI)

Migráció görbült határfelületek esetén

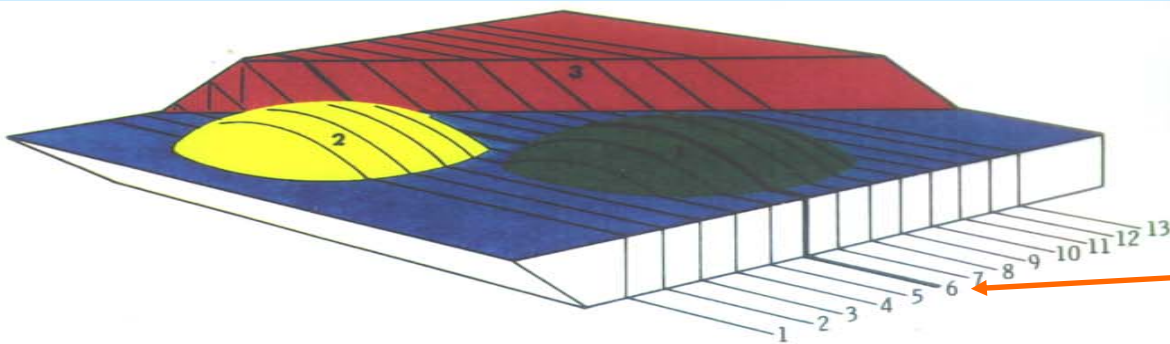


Figure 1. 3D model, depicting the relationship of line 6 to domes 1 and 2 and fault scarp 3.

6. vonal

Számított reflexiók szelvény a 6. vonalra a fenti 3-D szerkezetre.

2 -dimenziós migráció alkalmazása a 3- dimenziós szerkezet felett a 6. vonal mentén.

3- dimenziós migráció alkalmazása uott, ami helyes.

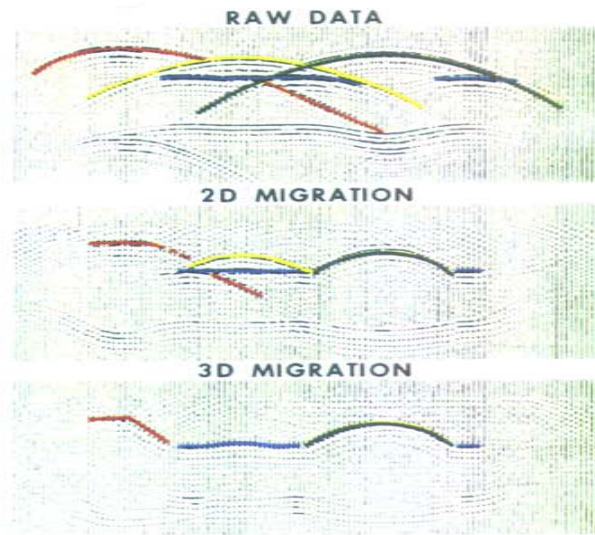


Figure 2. Seismic data for line 6 showing results from three processing approaches.

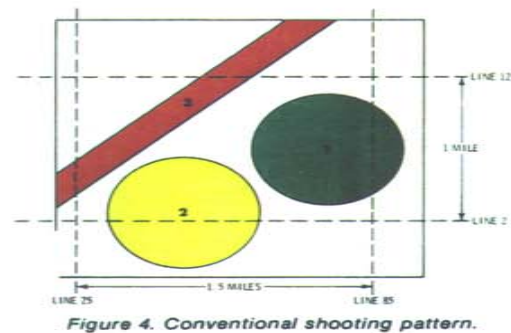


Figure 4. Conventional shooting pattern.

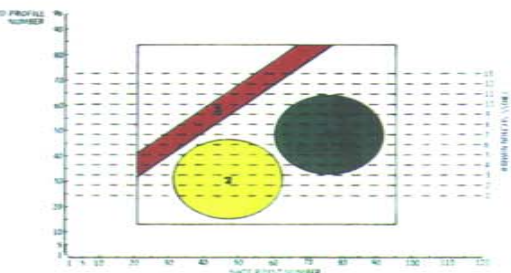
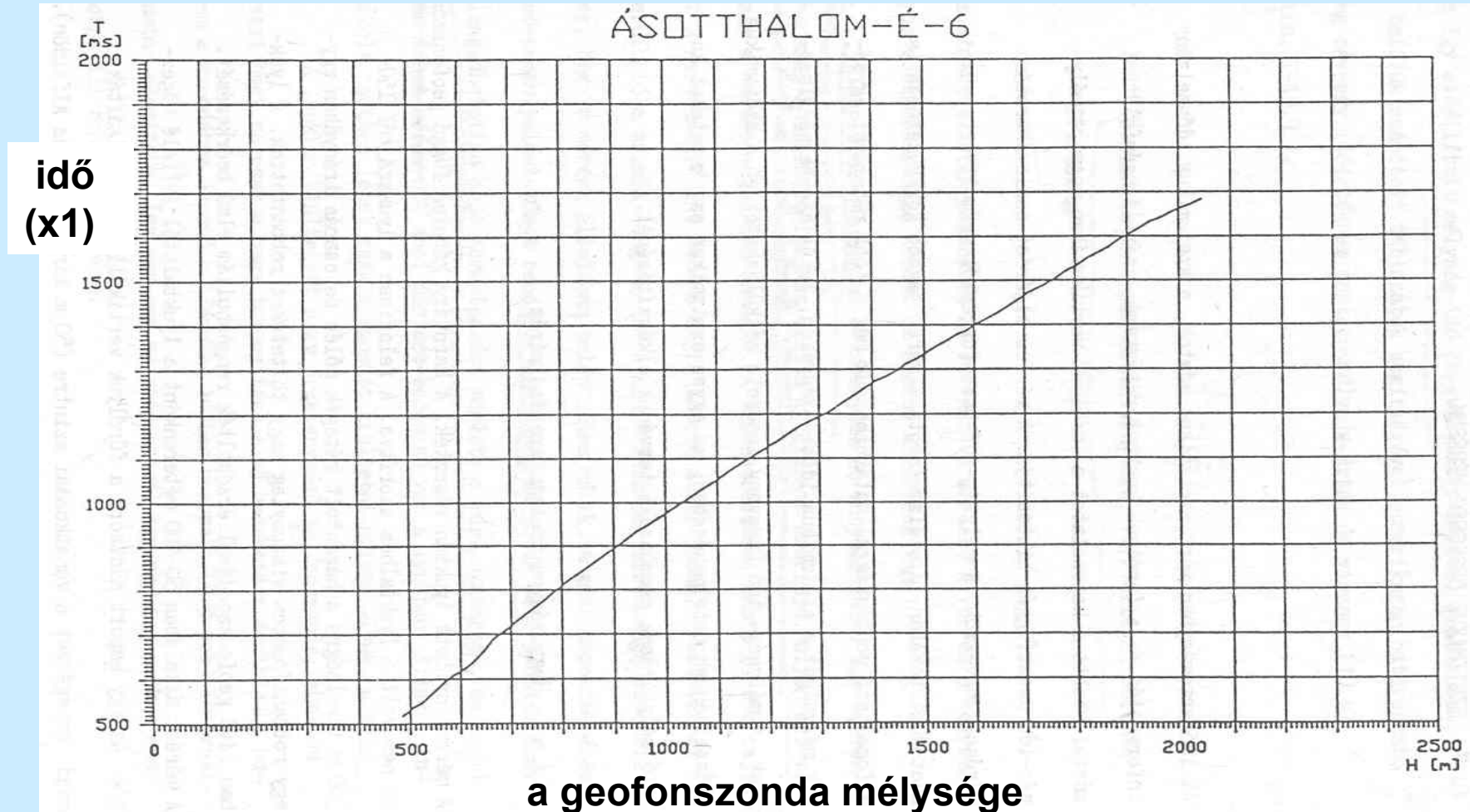


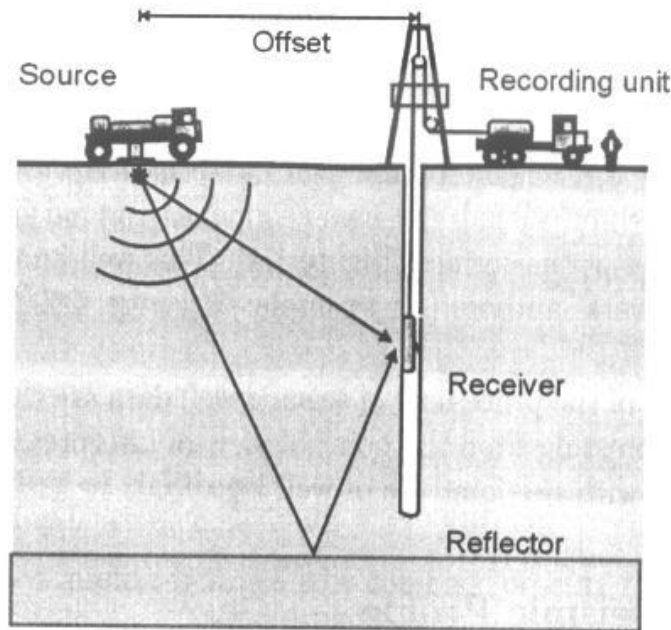
Figure 5. 3D data collection pattern.

IDŐ-MÉLYSÉG TRANSZFORMÁCIÓ, SZEIZ. SEBESSÉG MÉRÉS

Korábban **hagyományos szeizmokarottázs** (nyitott lyukban karottázs kábelén függő geofonszonda) révén. Mérés: lyuktalptól felfelé: 50-100m-ként. Nagy töltetek a lyukszájtól 150-300m-re dőlés- és csapás irányban. A mélység-idő függvény meghatározása interpolációval. TWT/2-t kell használni az idő-mélység átszámításra, vagy a geofonszondáknál mért idők kétszeresét veszem (ez a gyakorlat).



VSP



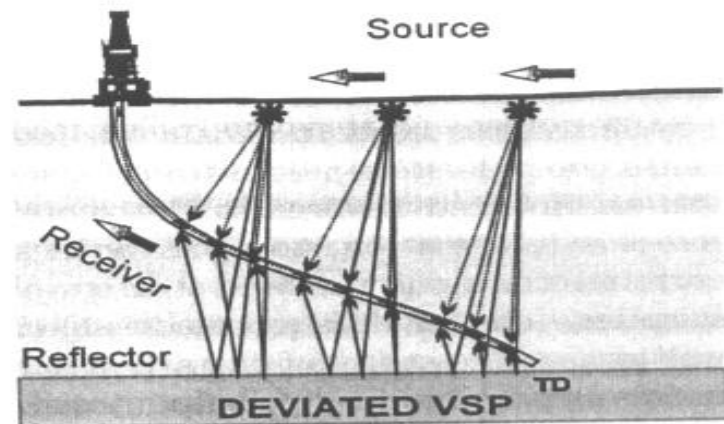
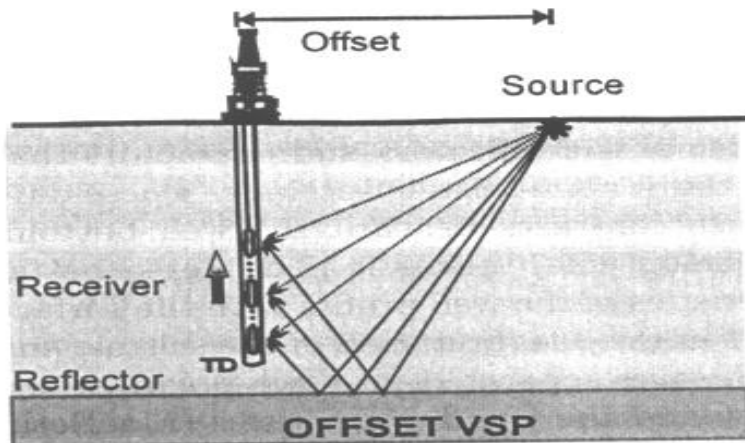
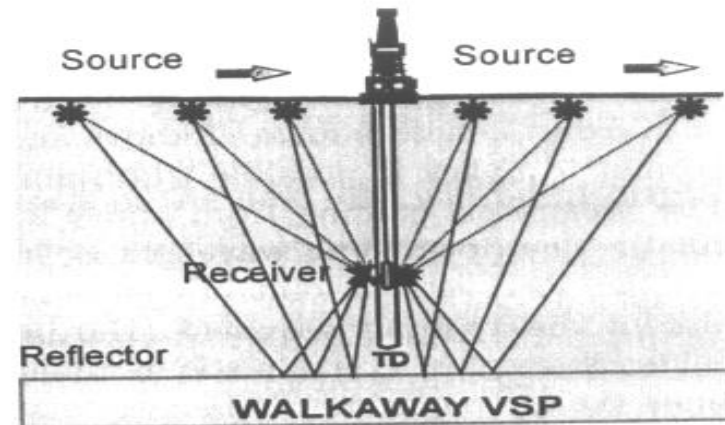
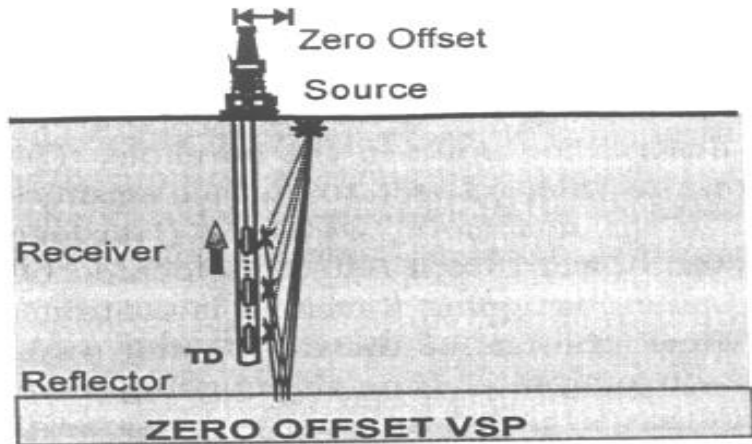
Conventional wireline VSP uses the receivers in the well and surface source. The distance of the source from the well is the offset (which is equal to the source-receiver offset if the well is vertical).

**Intervallum- sebesség
mélységfüggése
határozható meg,
mely értékek
felhasználhatók a
reflexiók szelvények
beérkezési idő-
mélység
transzformációjához.**

Vertikális szeizmikus szelvényezés, VSP (Vertical Seismic Profiling). Az érzékeny geofonszondát egy szervorendszer a lyukfalhoz v. a bélészső falához szorítja. A szonda megtartja önmagát, a mérés visszaeresztett kábellel történik. Kiülthetőség bélészsőben. Bélészsőbeli mérésnél jó akusztikus csatolásnak kell lenni a bélészső-cement és a cement-kőzet között egyaránt.

IDŐ-MÉLYSÉG TRANSZFORMÁCIÓ, SZEIZ. SEBESSÉG MÉRÉS

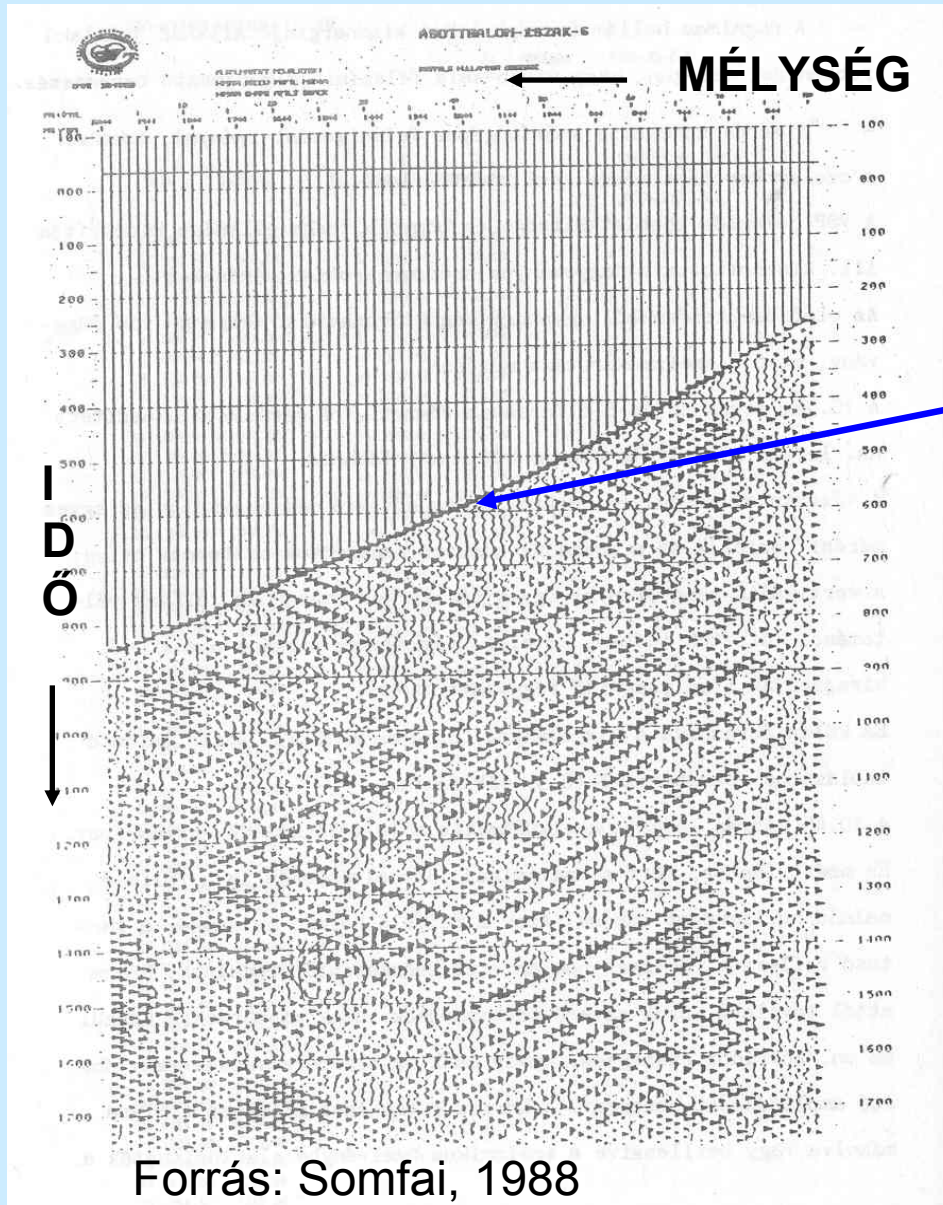
A vertikális szeizmikus szelvényezés felszíni forrást és érzékelőként fúrólukbeli geofonszondát alkalmaz. Az offset a fúróluk felszíni pontja és a forrás közötti távolság. Változatos elrendezéseket különböztethetünk meg: pl. offset , offset nélküli, eltávolodó VSP és ferde fúrásban felvett VSP mérést.



Schematic representation of main types of conventional onshore VSP acquisition geometries. A similar geometry holds for offshore applications.

F.B. Poletto, F. Miranda (2004)

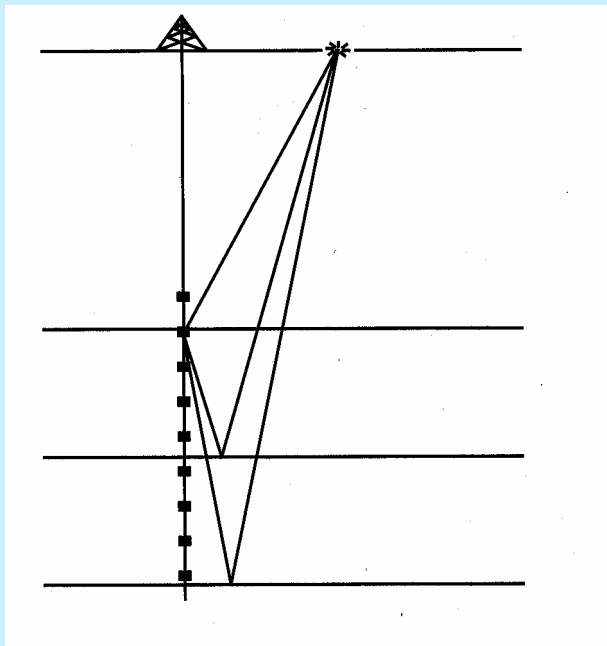
IDŐ-MÉLYSÉG TRANSZFORMÁCIÓ, SZEIZ. SEBESSÉG MÉRÉS, VSP



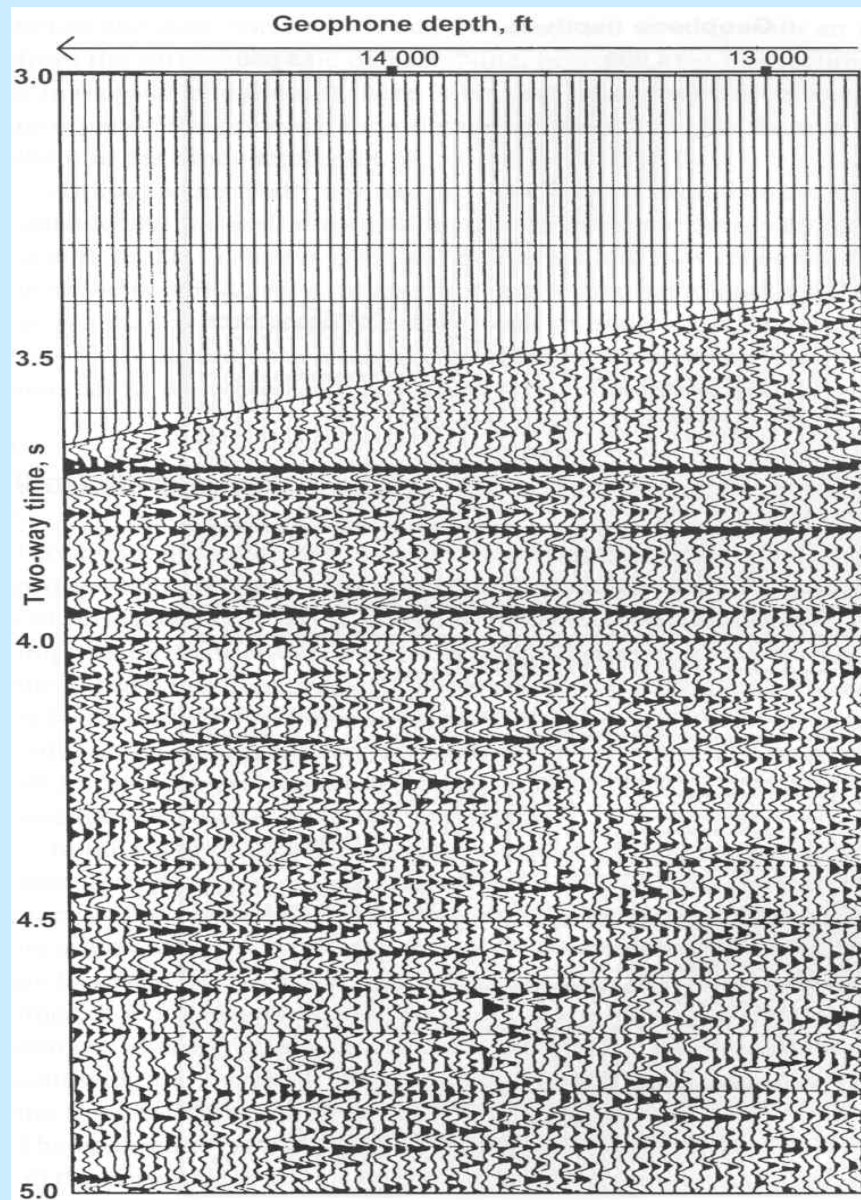
VSP méréseknél a lefelé és felfelé haladó hullámok beérkezései (és interferenciái) mérhetők. Az első beérkezések amplitúdói jól meghatározzák a mélység-idő függvényt, amit az ábrán a kék nyíl jelöl. Az ábra a teljes hullámképet (lefelé és felfelé haladó hullámképet együtt) mutatja. **A reflexiós szeizmikus időszelvényen a felfelé haladó hullámkép jelenik meg.**

A VSP mérések feldolgozásakor a lefelé és felfelé haladó hullámképet elkülönítik. **A felfelé haladó hullámkép**ből ki kell szűrni a zavaró többszörös reflexiókat. Ezek kiszűrésére korridor (folyosó) összegzést alkalmaznak, mely az első beérkezések sávjába eső amplitúdókat összegzi (többszörösek kiszűrése).

IDŐ-MÉLYSÉG TRANSZFORMÁCIÓ, SZEIZ. SEBESSÉG MÉRÉS, VSP

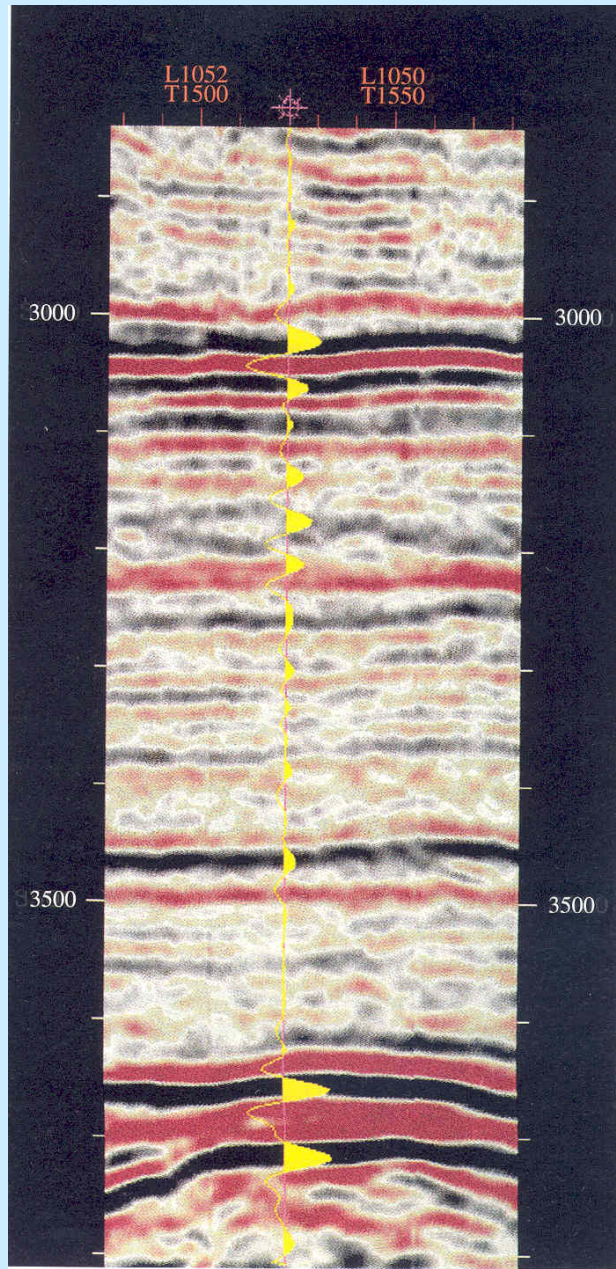


**VSP sugárutak
felfelé haladó első beérkezések**



zero-offset VSP felfelé haladó hullámképe dekonvolúció után

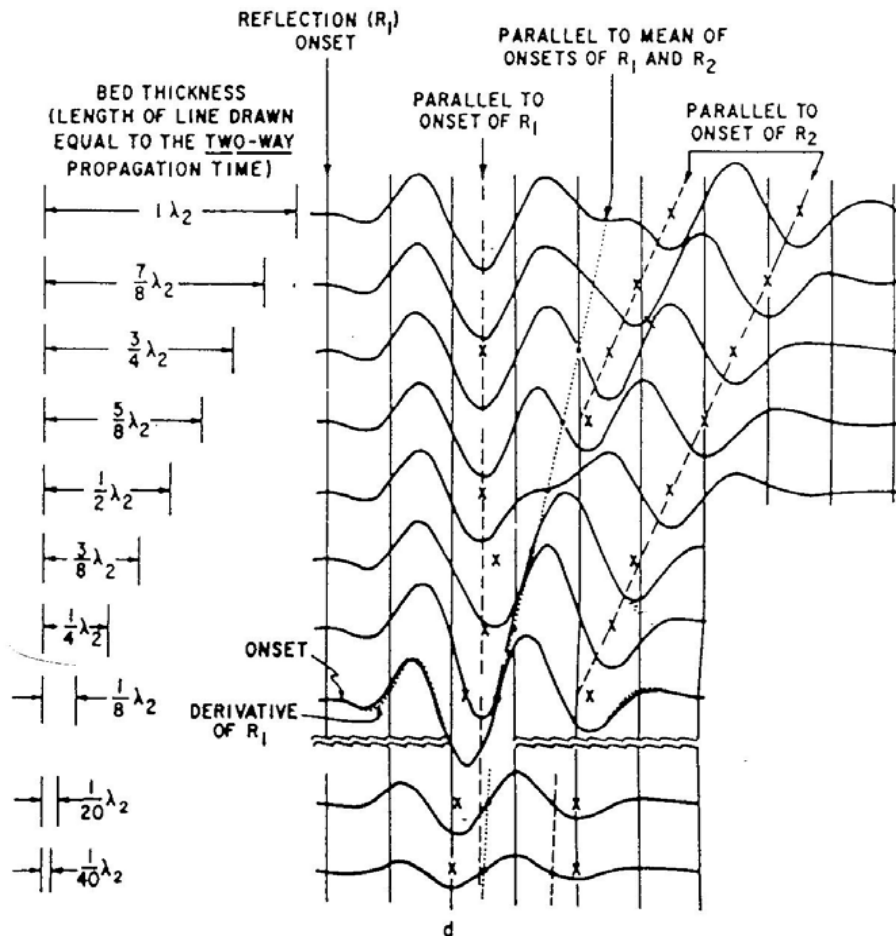
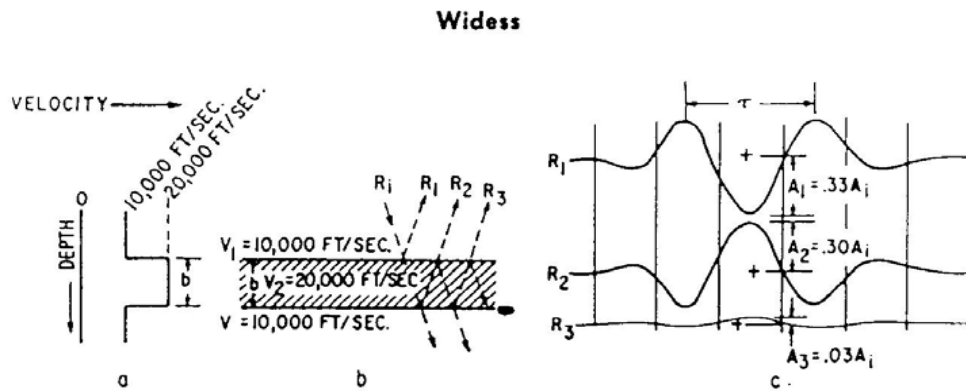
IDŐ-MÉLYSÉG TRANSZFORMÁCIÓ, AKUSZTIKUS KAROTÁZS INTEGRÁLÁSA



Az akusztikus karotázs mérés lehetővé teszi a sebesség értékének rétegenkénti meghatározását és rétegvastagság is megadható. Egyes szondák mérik a mélység függvényében a felszíntől számítva az összegzett terjedési időt, mely információt a VSP-vel egyesítve az idő-mélység transzformáció elvégezhető.

További lehetőséget nyújt a szeizmikus mélység adatok meghatározásában ha egy fúrás (jelen esetben vertikális) mentén az akusztikus és sűrűség szelvények alapján számított szintetikus szeizmogramot és a fúrási ponthoz tartozó reflexiós szelvényt összevetjük.

Az ábrán látható a szintetikus szeizmogram és a fúrás helyére vonatkozó már mélység-transzfomált szeizmikus reflexiós szelvény jó egyezése. Bacon et. al. 2007



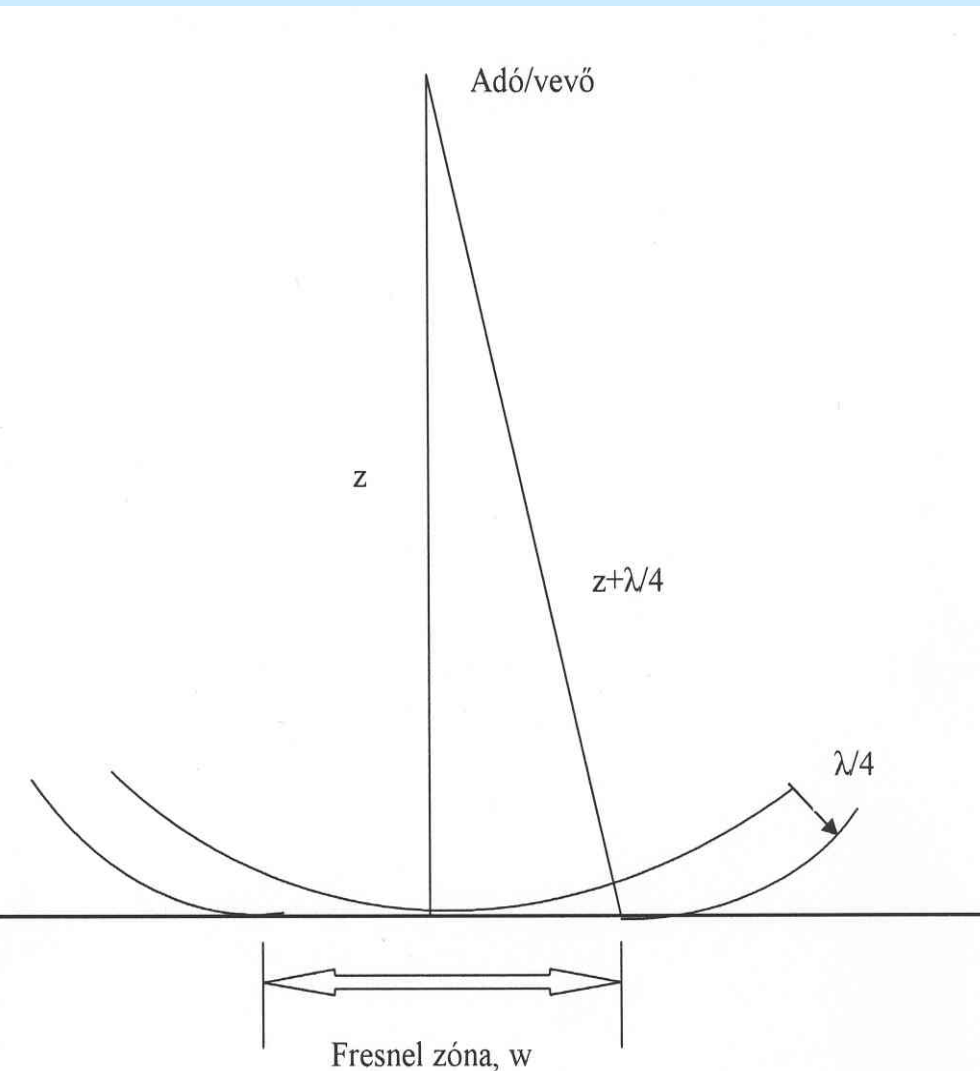
Vertikális felbontás

A vert. felbontás annál jobb, minél nagyobb a frekvencia, minél kisebb a hullámhossz.

Elméletileg ha a rétegvastagság nagyobb mint a kimutatni kívánt rétegbeli $\frac{3}{4}$ hullámhossz, akkor ezen réteg tetejéről és aljáról kapott reflexiók még elkülönülnek.

A vízszintes felbontás (Fresnel-zóna) is a hullámhossz csökkentésével –azaz a frekvencia növelésével– fokozható, és romlik a ható mélység növekedésével.

Horizontális felbontás (Fresnel-zóna)



Az a reflektált energia, amely fél hullámhossznál kisebb fáziskéséssel érkezik be mint az első beérkezésű reflektált jel, az a reflexiót erősíti, ezért ez konstruktív interferenciának minősül. Azt a felületrészt melyről konstruktív interferenciával érkeznek be a reflexiók Fresnel zónának nevezzük. A w -nél kisebb horizontális felületről kapott reflexiókat nem lehet elkülöníteni. Az ábrán látható derékszögű háromszögre írható, hogy

$$z^2 + (w/2)^2 = (z + \lambda/4)^2$$

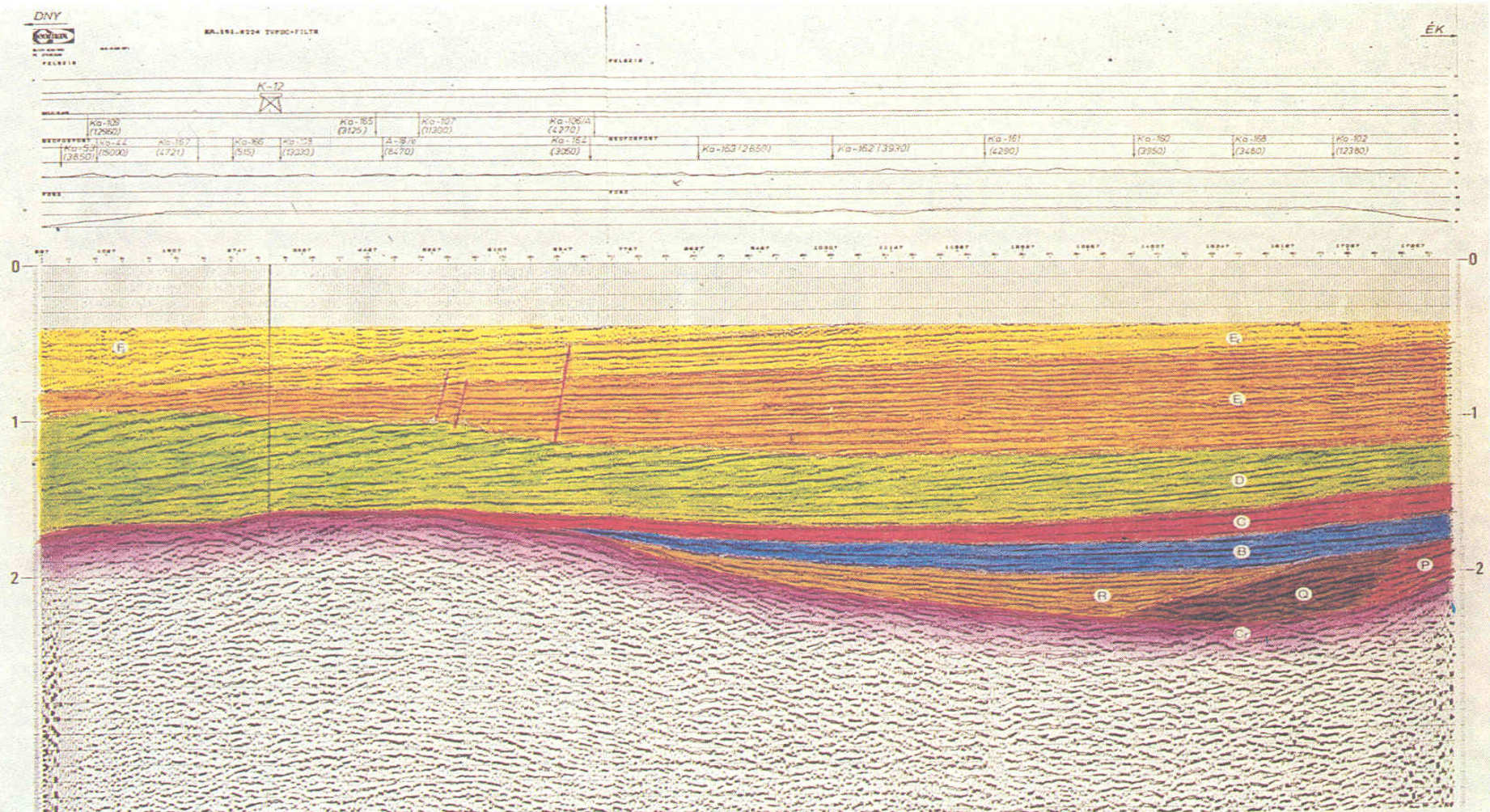
Négyzetre emelést követően ($\lambda^2 / 16$)-ot a bal oldalon elhanyagolva kapjuk, hogy:

$$w = \sqrt{2\lambda z}$$

A vízszintes felbontás is a hullámhossz csökkenésével fokozható, és romlik a ható mélységnövekedésével.

Szeizmikus időszelvények értelmezése

Reflexiókövetéses szelvényértelmezési eljárás. Szelvény mentén csatornáról-csatornára az azonos felületről származó jel fázisát követjük, az egymást keresztező vonalak metszéspontjaiban a követett reflexiók szinteket azonos értékűnek választjuk. Ha a mérési vonalak „hurkot” képeznek, akkor a korrelált szinteknek is záródni kell. Eredményes a módszer nagy impedancia kontraszt esetén: pl. Mo-on a neogén medence aljzatról (diszkordancia felület).



Az időszelvényben tíz egység különíthető el.

A legmélyebb és egy nagyon szép antiklinális formáló vezérszintet a $K-12$ jelű mélyfúrás rétegszelvényében paleozoós metamorf (átkristályosodott) kőzetként írták le (Cr; lila). E vezérszint alatt a hullámkép rendezetlen, sok apró szakaszból áll és még fantomszint sem jelölhető be. A vezérszint maga több kisebb diffrakcióból tehető össze, kisfrekvenciás megjelenésű, így diszkordancia szint, amelyet a fedő üledékekkel való szögdiszkordancia is megerősít.

A miocén összlet a szelvény ÉK-i sarkában P , Q és R egységekből áll (piros, barna és sárgásbarna). A P jelű egység enyhén zavart hullámképe megfelel a szomszédos mélyfúrásokban talált törmelések, tektonizált képződményeknek, amelyek a miocén rétegsor alját képezik. A P -vel tektonikusan vagy települési diszkordanciával érintkező Q jelű egység nagyobb amplitúdóval és ferde, illetve közel S alakú hullámképpel jellemezhető. Ezzel az egységgel szögdiszkordanciával érintkezik az R egység, amely a fedőképződmények településétől elsősorban az amplitúdók méretében és a kisfrekvenciában különbözik.

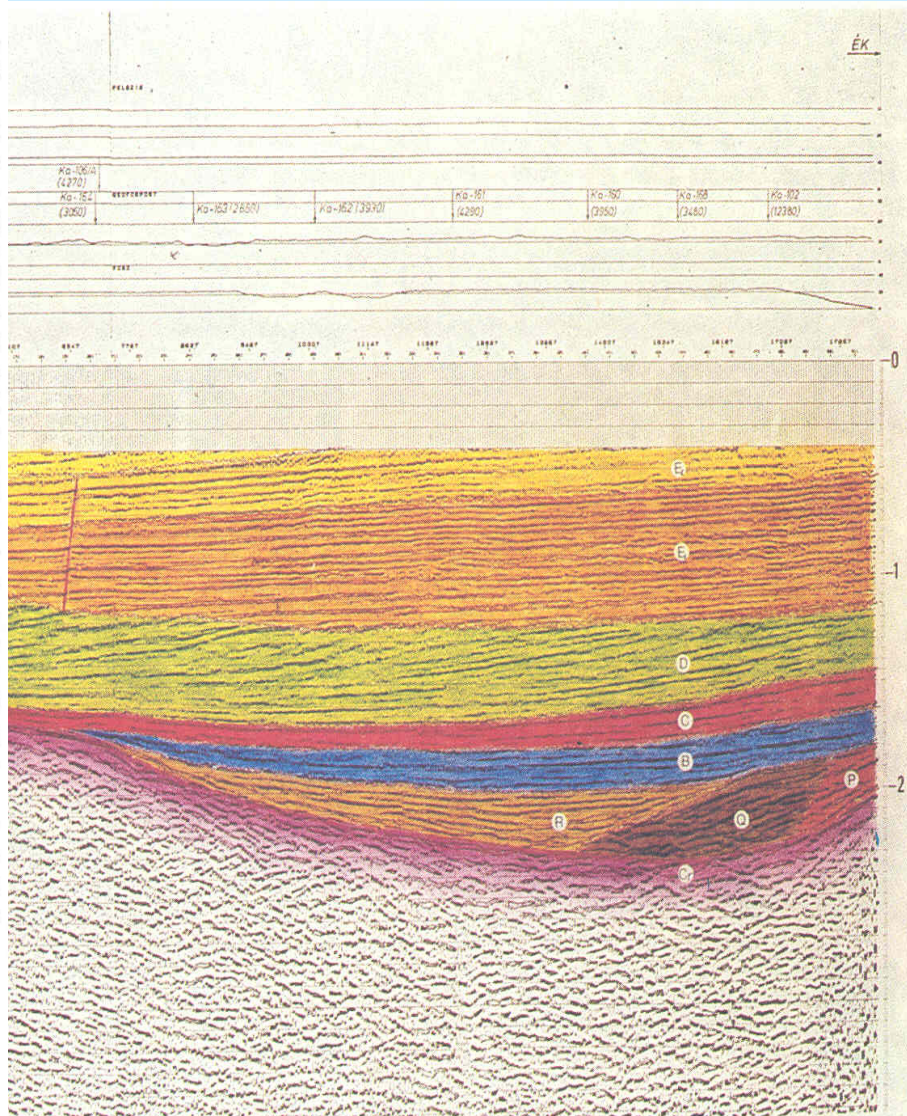
A pannóniai képződményeket hat egységre lehet felosztani. A B és C egységek (sötétkék és világosabb piros) az antiklinális szárnyán kiemelkedő – transzgressziós – képződményeket jelölik. Megfigyelhető a konvergencia a két egységen belül, de a két egység között is. A legmélyebb részeken a reflexiók amplitúdója csökken, az üledékek finomodására következtethetünk. A D jelű (zöld) összlet jellegzetes kereszt-hajlított és S alakú fázistengelyei, az amplitúdók gyors változásai egyértelműen

jelzik a deltaképződményeket. Amint erre az előzőekben utaltunk, az ilyen jellegű szeizmikus kép a homokos képződmények indikátora.

Érdekes megfigyelni, hogy az időszelvény DNy -i részén lévő antiklinális felett ez a deltaképződmény-sorozat kivastagszik és egy látszólagos antiklinális képez, amelyhez az E_1 jelű (sárga) egység kiemelkedik. Ez az üledékképződési viszonyok változását is jelzi, mert míg a D egység alsó határa C -vel egy vezérszinttel megadható és a vezérszint teljes hosszában azonos idejű képződést jelent, addig a felső határán az E_1 egység több összetevője is kiemelkedik. Ez azt jelentheti, hogy az alsópannóniai képződmények felső része a felsőpannóniai képződményekkel egy eróziós határ mentén érintkezik.

Az E_1 és E_2 (narancssárga és sárga) egységek között a lényeges különbség csupán a DNy -i kiemelkedésben van. Mind a két rétegösszletben megfigyelhetők a gyors amplitúdóváltozások, amelyek kőzetfácies változásokhoz (homokosodás, agyagosodás, finomodás-durulás) is kapcsolhatók. Ez a felsőpannóniai rétegösszlet általános jellege. Az F_1 jelű (világossárga) egység a felsőpannóniai beltavi képződményeknek felelhet meg, az előzőektől a kisebb jelamplitúdó és a zavartabb fázistengely különbözteti meg.

Ez a kép jól jellemzi az Alföld mélyföldtani viszonyait, bár még távolról sincs olyan részletességgel feldolgozva, mint amelyet a rendelkezésünkre álló információk lehetővé tennének. A szeizmikus sztratigráfia első lépéseit jelentik.



Szeizmikus időszelvények értelmezése

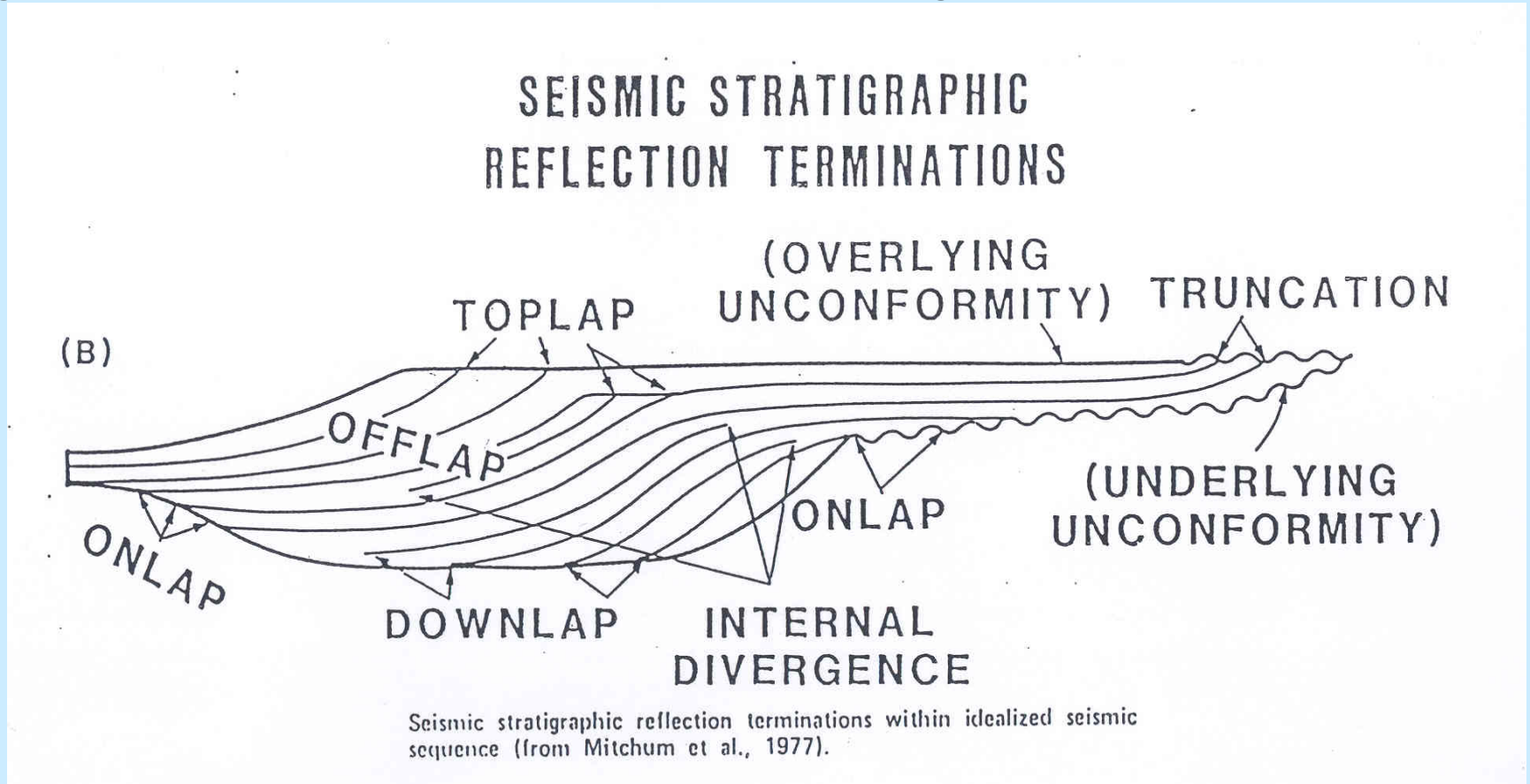
Szeizmikus sztratigráfia (üledékképződés körülményeinek szeizmikus meghatározása)

A reflexiók kvázi egyidőben kialakuló szintekről származnak, amelyek réteghatárok vagy diszkordancia felületek. Az áttolódást, takaró redőt leszámítva egy adott reflexió alatt csak idősebb földtani képződmények fordulnak elő. A szeizmikus sztratigráfiai feldolgozás főbb lépései:

- **Szeizmikus szekvencia analízis (üledékképződési sorozatok elkülönítése)**
- **Szeizmikus fácies analízis (a sorozaton belül fáciesek elkülönítése)**
- **Relatív tengerszint változás, üledékképződés, tektonika rekonstrukciója**

Szeizmikus szekvencia analízis

A szeizmikus szekvencia az egy ciklusban keletkezett rétegekről származó reflexiók sorozata, melynek alsó és felső határa diszkordanciafelület reflexiója, vagy annak meghosszabbításaként adódó konkordáns reflexió. Megfelel az üledékes szekvenciának.



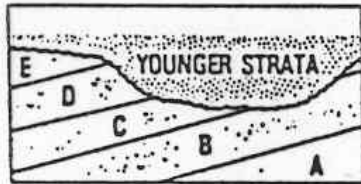
Fellapolódás, felső hézagos település, csonkulás, alsó hézagos település, rálapolódások, lelapolódás határolja le az ábrán a szeizmikus szekvenciát. A reflexiók elvégződésével kereshetők meg a szekvencia határai.

Szeizmikus szekvencia analízis (reflexiók elvégződése)

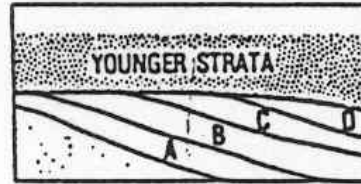
STRATIGRAPHIC RELATION

EROSIONAL TRUNCATION

DEPTH
(METERS)
0
250



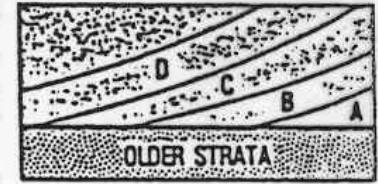
TOPLAP



ONLAP

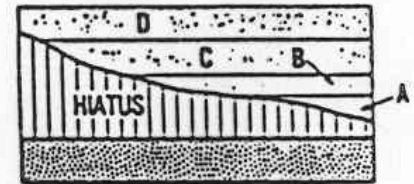
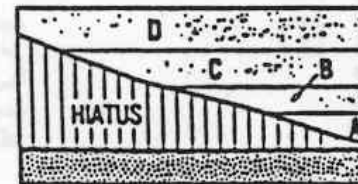
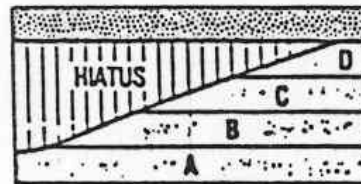


DOWNLAP



CHRONOSTRATIGRAPHIC RELATION

GEOLOGIC TIME UNITS
(ARBITRARY)

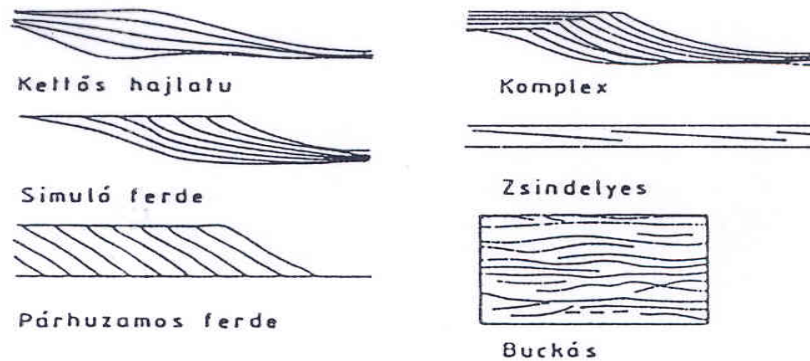


Az eróziós lepusztulás felülete, a fellapolódás, a rálapolódás és a lelapolódás megjelenési formája (felül balról-jobbra haladva), és időbeli kialakulása feltüntetve az üledékképződési hiátust.

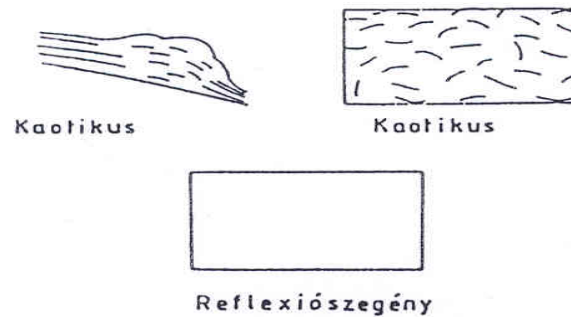
Szeizmikus fácies analízis

A reflexiók sajátosságai alapján minden egyes szeizmikus szekvencián belül szeizmikus fáciesek különíthetők el. A szeizmikus fáciesen belül a reflexiók sajátosságai (reflexiók konfigurációja, reflexiók folytonossága, reflexiók amplitúdója, fázisszélessége, intervallumsebesség) állandók.

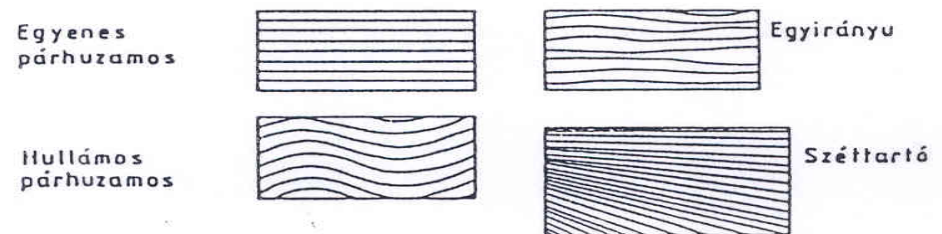
Elsődleges belső fácies formákat mutat az ábra
(Somfai 1988 alapján).



Hajlított progradációs belső fácies-formák.



Kaotikus és reflexiószegény belső fácies-formák.



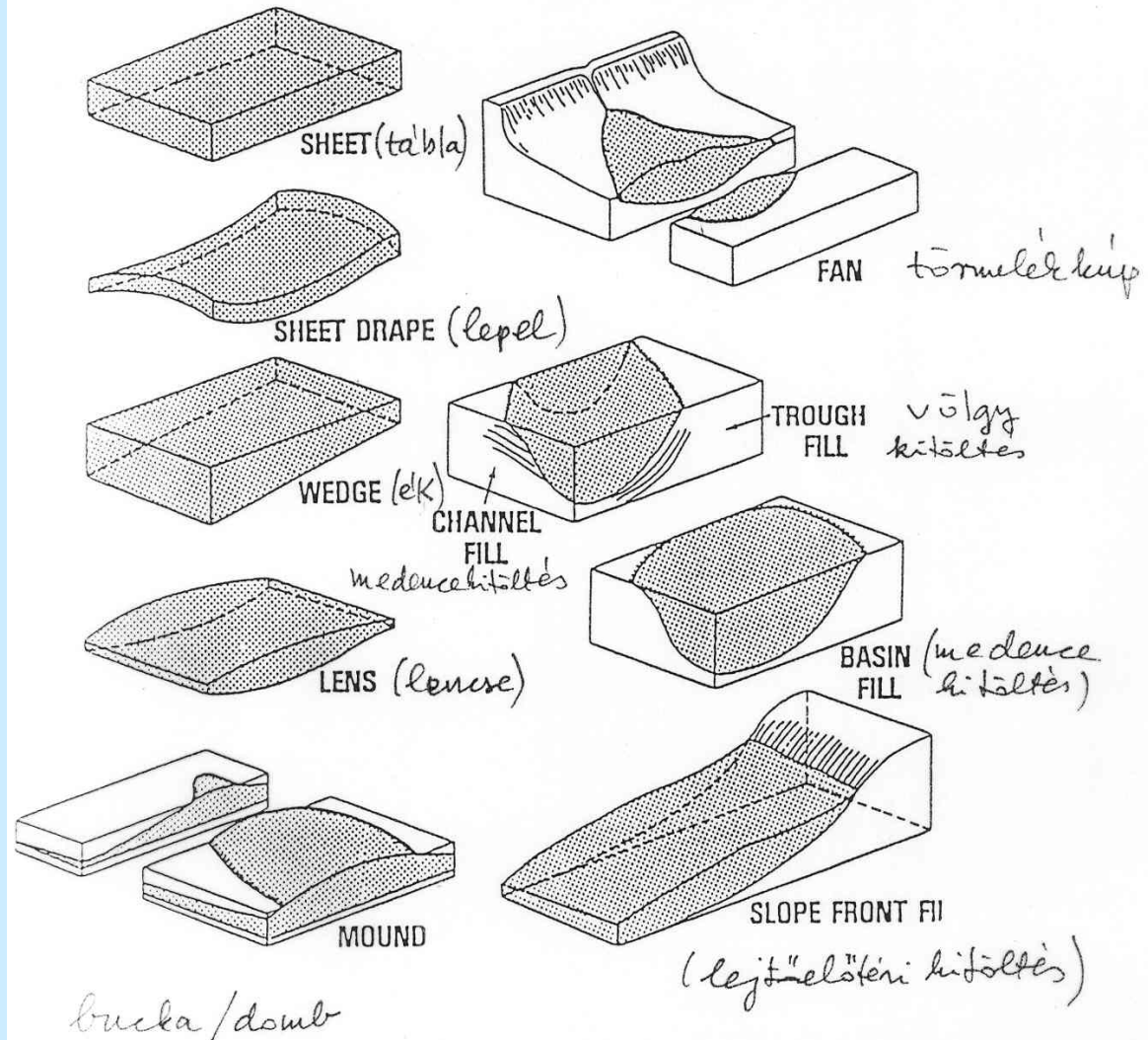
Párhuzamos, egyirányú és széttartó belső fácies-formák.

Szeizmikus fácies analízis

Leggyakrabban
előforduló, 3D-ben
lehatárolt szeizmikus
fáciesek külső alakja.

(Somfai 1988 szerint)

EXTERNAL FORM OF SEISMIC FACIES UNITS



Üledékképződés, relatív tengerszintváltozás, tektonika rekonstrukciója

A szeizmikus sztratigráfiai feldolgozás harmadik fázisa, melyben a geológiai és mélyfúrási geofizikai adatok is szervesen beépülnek.

A szénhidrogén akkumulációt alapvetően befolyásoló kérdésekre - **HOL**

TALÁLHATÓK MEG AZ

ANYAKÖZET,

TÁROLÓ KÖZET(EK),

ZÁRÓKÖZET,

MIGRÁCIÓS ÚTVONAL -

a fenti szeizmikus sztratigráfiai vizsgálatok elvégzését követően könnyebben lehet választ adni.

**A tárolók lehetséges eloszlása Tari G. És Vakarcs G.
(1993, Magyar Geofizika különszám) alapján.**

Kisvízi rendszer-egység

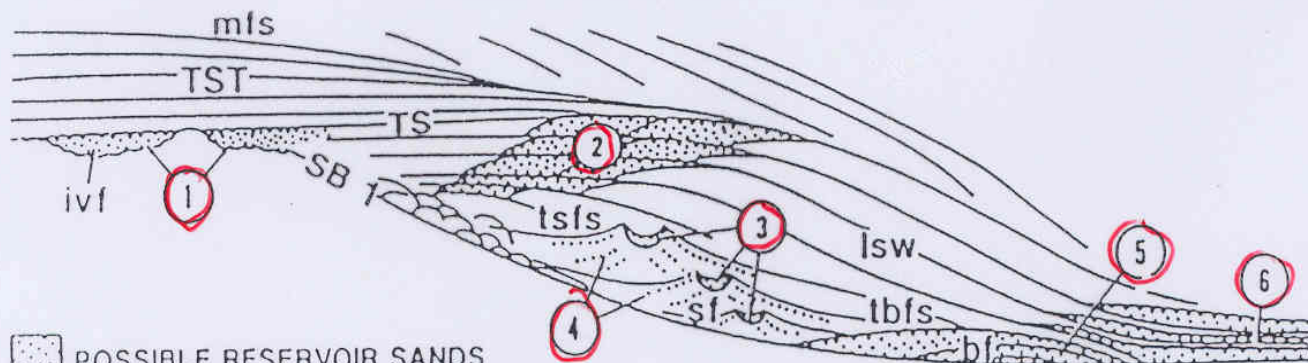
Transzgressziós rendszer-egység

Párkányperemi rendszer-egység

Magasvízi rendszer-egység

Vail (1987) szerint szilikátos kisvízi rendszer-egység lehetséges CH előfordulásai az ábrán.

LOWSTAND SAND DISTRIBUTION IN DEEPWATER BASIN WITH SHELF-SLOPE BREAK



Lehetséges rez.
bevágott völgy kitölt.
part menti homok

POSSIBLE RESERVOIR SANDS

1 INCISED VALLEY FILL SANDS

2 COASTAL BELT SANDS

3 CHANNEL/OVERBANK CHANNEL SANDS

csatorna homokok (csatorna kitöltés)

4 OVERBANK SANDS

parton túli
homokok

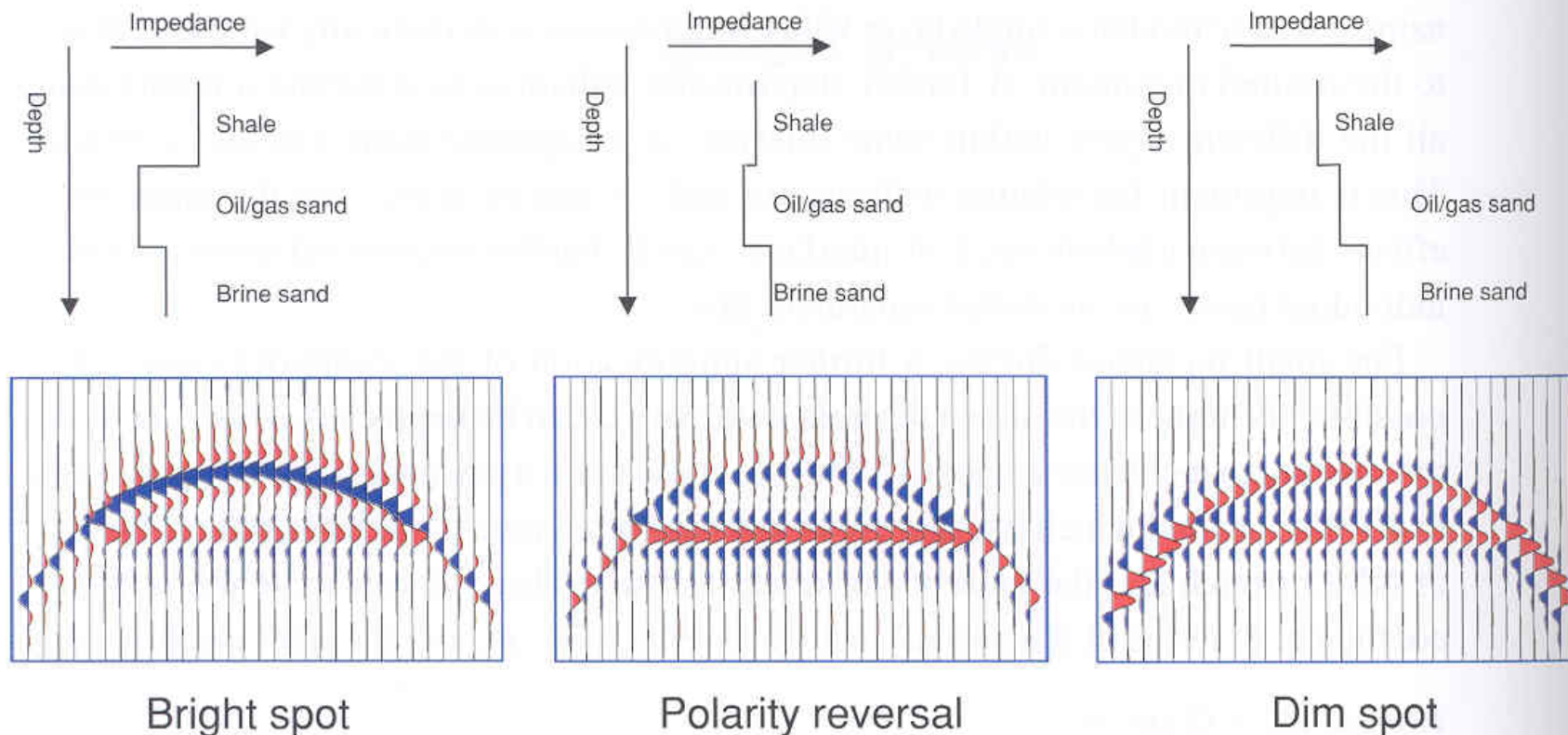
5 BASIN FLOOR FAN

fenéki kúp

6 SHINGLED TOE OF LOWSTAND
PROGRADING WEDGE SANDS

külső oldalelek (Külső oldalelek)

CH indikációk



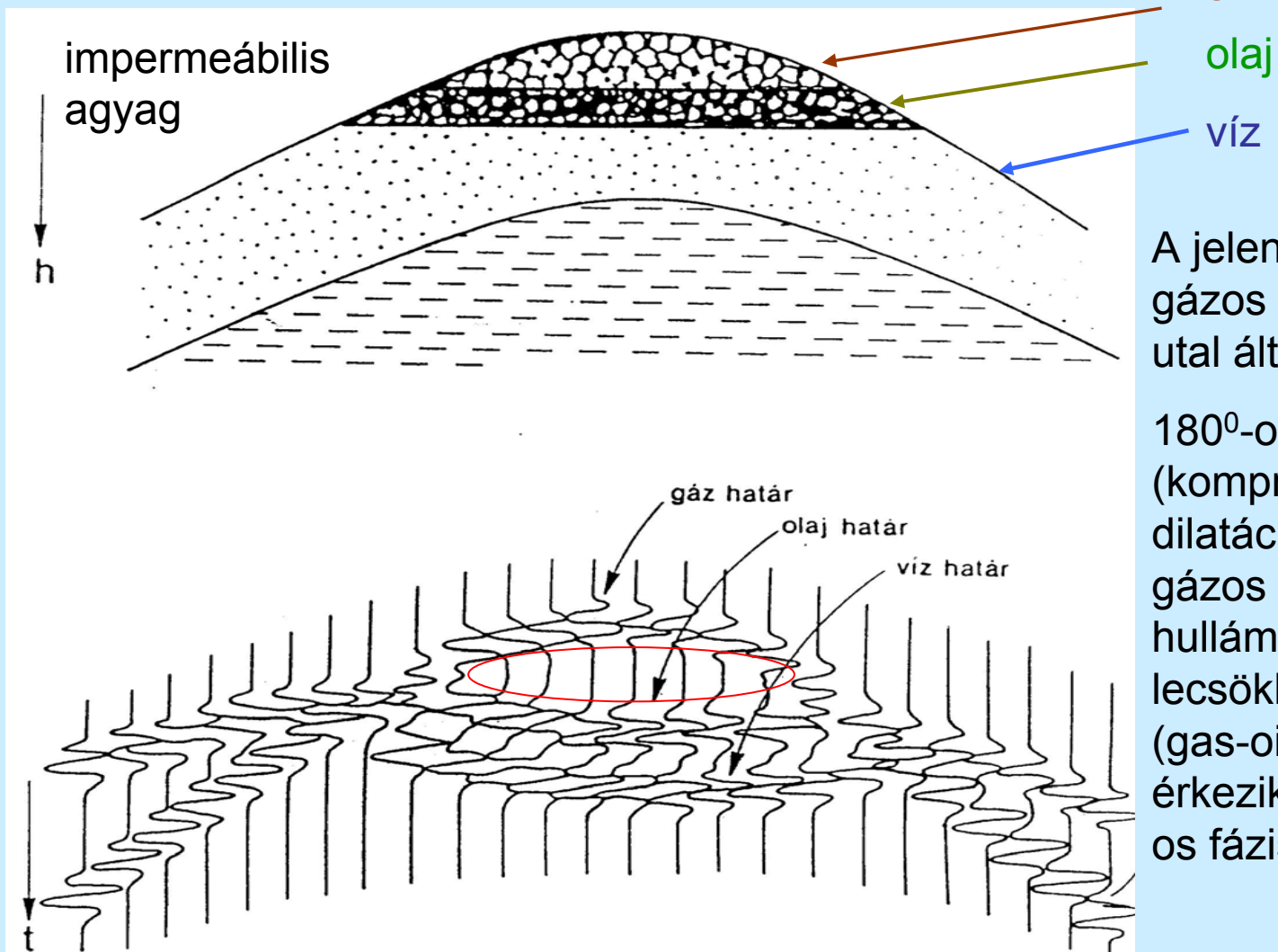
Fényes folt

Polaritás váltás

Halvány folt

A reflexiós időszelvényen a CH felismerhetősége annál jobb minél nagyobb az akusztikus impedancia kontraszt a zárórteg és a CH telep között, továbbá minél vastagabb a telep vastagsága. Az ábrák mindegyikén megjelenik a **Flat spot** (lapos folt), amely itt a CH és a víz között alakul ki, önálló reflexióként jelentkezve. Közel vízszintes elhelyezkedése miatt nagyobb kiterjedés esetén könnyebben elkülöníthető és ilyenkor a GOC, GWC, OWC kijelölhető a szeizmikus időszelvényen.

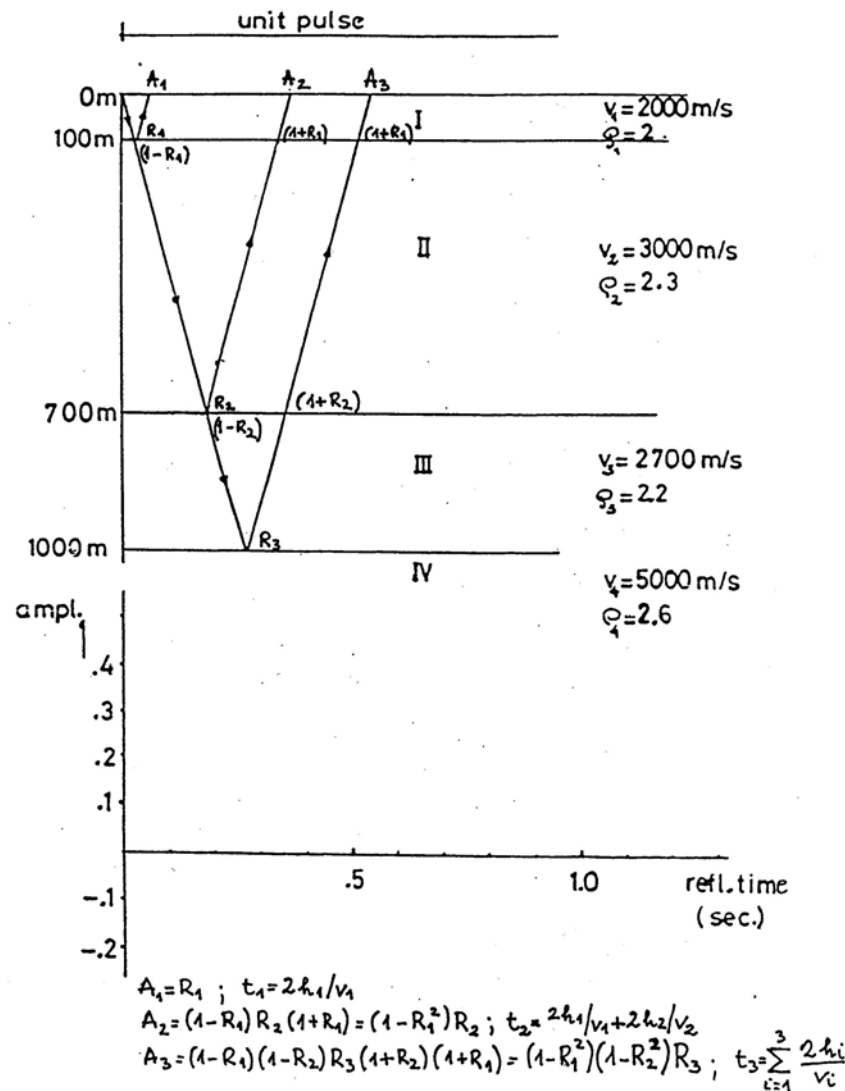
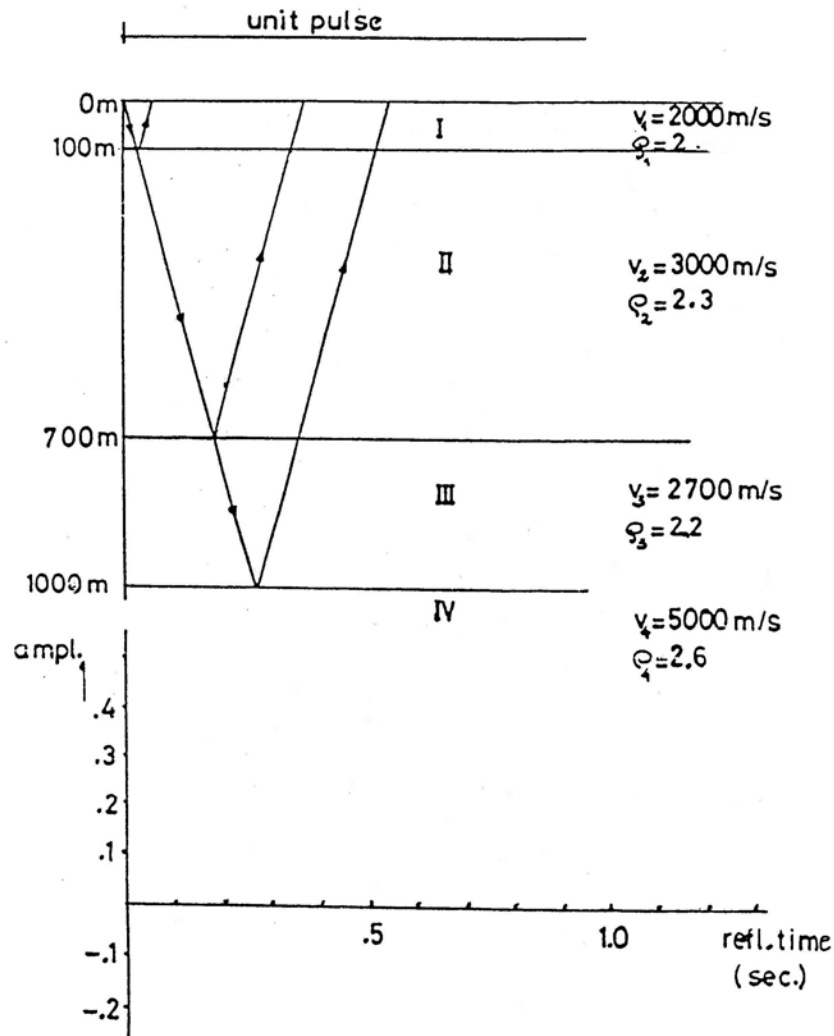
Bright spot (fénylő folt)



A jelenség elsősorban gázos zónák jelenlétére utal általában.

180°-os fázisváltás (kompresszió helyett dilatáció v. fordítva), a gázos zónában a rugalmas hullám sebessége lecsökken, ezért a GOC (gas-oil-contact)-ról később érkezik reflexió ismét 180°-os fázisváltással.

A megadott modellre számítsa ki és a mellékelt amplitúdó/beérkezési idő koordináta-rendszerben ábrázolja az egységnyi amplitúdójú, lefelé haladó, impulzus alakú szeizmikus jelnek az I/II., II/III., III/IV. határfelületeken reflektálódott felszíni beérkezési ideit és amplitúdóit. Milyen következtetéseket tud levonni az ábra alapján?



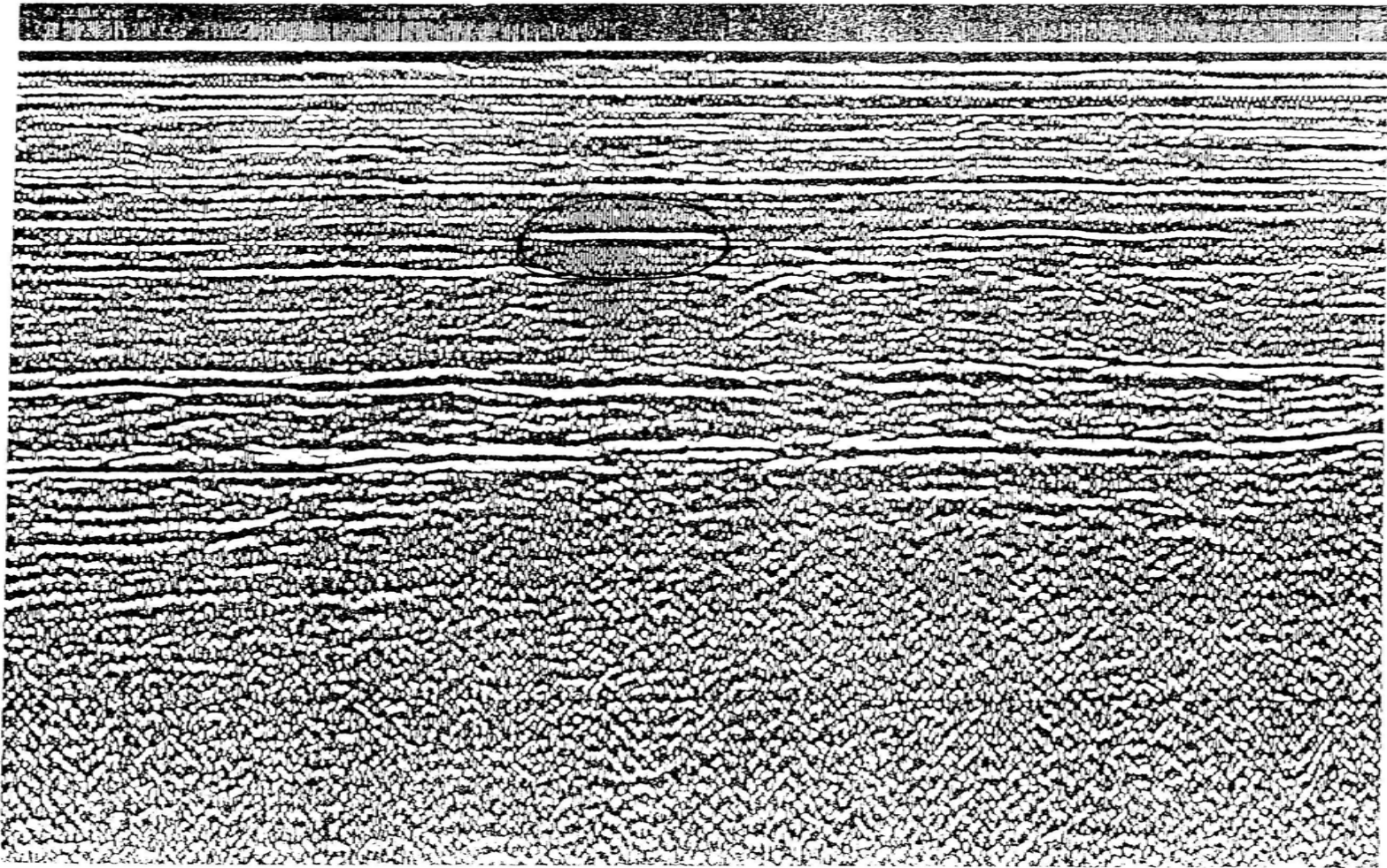
A unit pulse (Amplitude = 1) travels down into the earth represented by the above model and is reflected/transmitted at the interfaces I/II, II/III and III/IV.

Plot the three reflected pulses on the given Amplitude-time scale

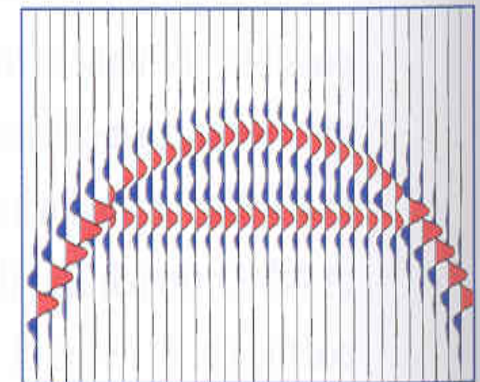
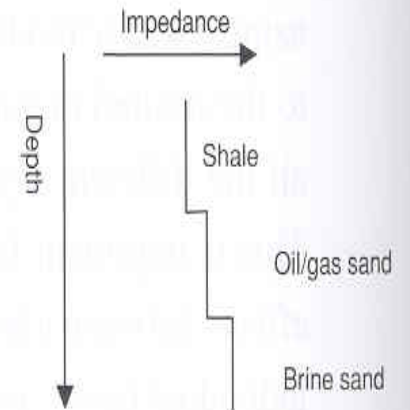
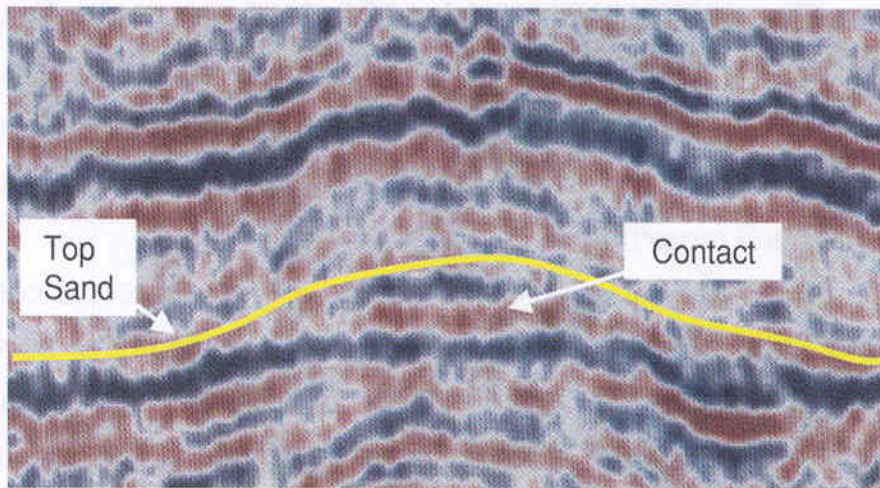
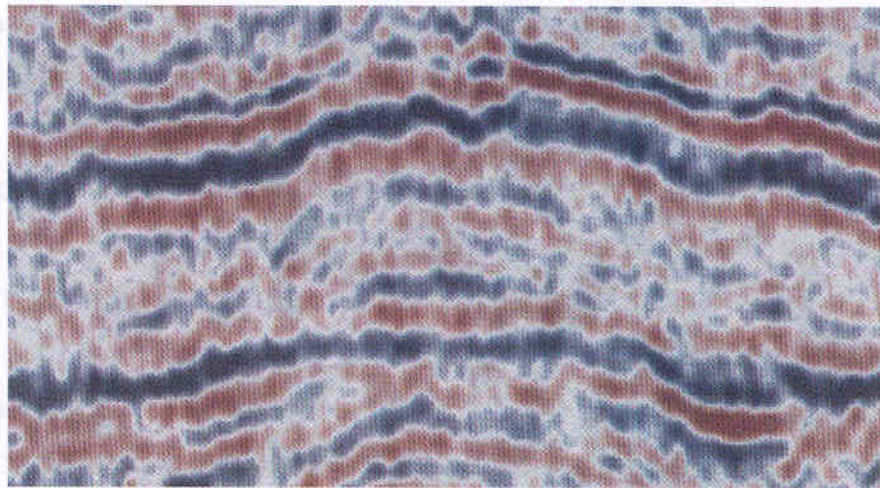
$$R_c = \frac{A_{\text{reflected}}}{A_{\text{transmitted}}} = \frac{A_R}{A_i} = \frac{z_2 - z_1}{z_2 + z_1} = \frac{s_2 v_2 - s_1 v_1}{s_2 v_2 + s_1 v_1} \quad \text{if } A_i = 1$$

$$T_c = 1 - R_c$$

Bright spot



Dim spot -Halvány folt

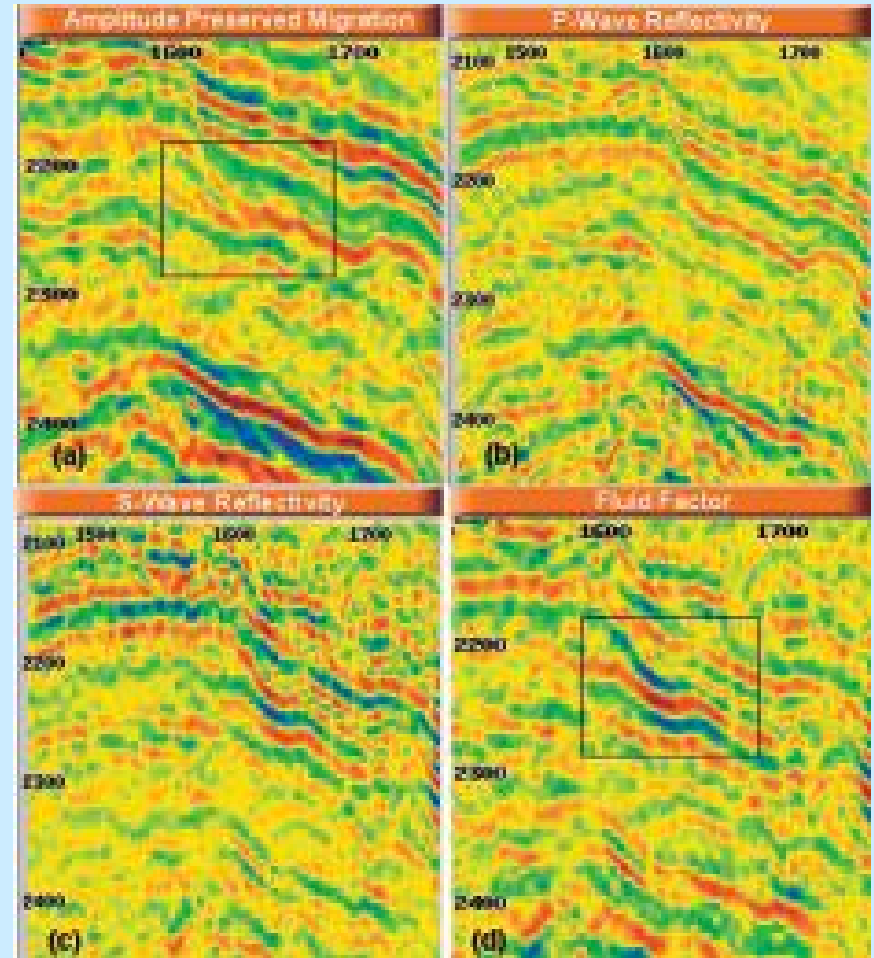


AVO (amplitude versus offset) analízis

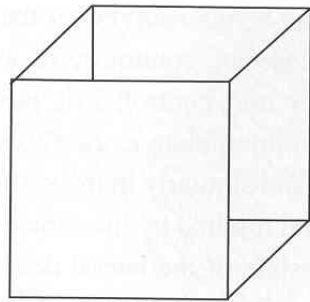
Cél: szeizmikus reflexiós mérésekből a rétegtelítettség viszonyokra következtetés (Ostander, 1984)

A határfelületeken kialakuló reflektált hullám amplitúdója függ az egymással kontaktusban lévő formációk akusztikus impedancia kontrasztjától. Ha a hullám nem önmagába visszaverődő nagy mélységből érkező reflexió, akkor nem csak longitudinális, hanem transzverzális hullám is kialakul. A P és S hullámok sebességének a hányadosát vizsgálják a robbantópont-geofonpont (offset) távolság függvényében, mely arány értéke érzékeny a Poisson szám megváltozására, így a rétegtartalomra is.

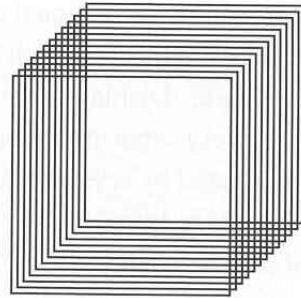
$$\left(\frac{V_P}{V_S}\right)^2 = 2(1 - \sigma)/(1 - 2\sigma)$$



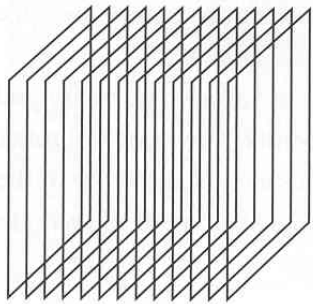
Furniss (2002)



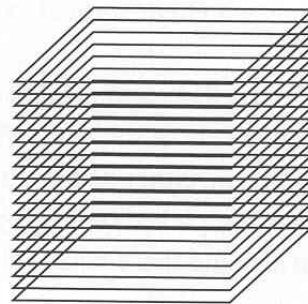
Data cube



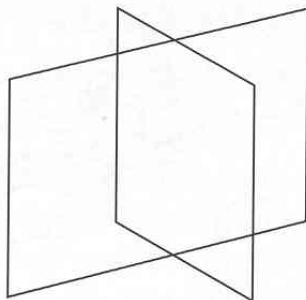
Inlines



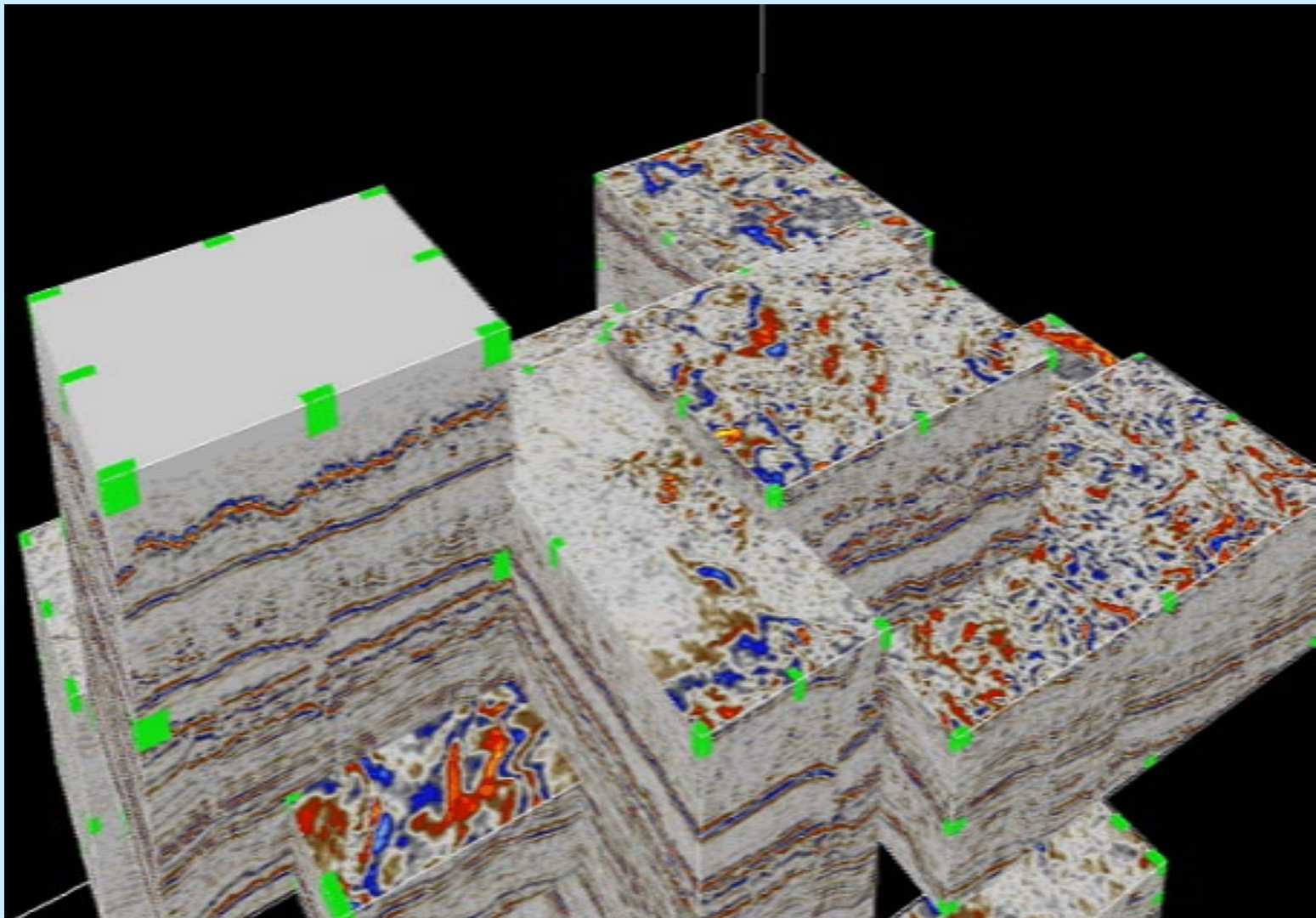
Crosslines



Time slices

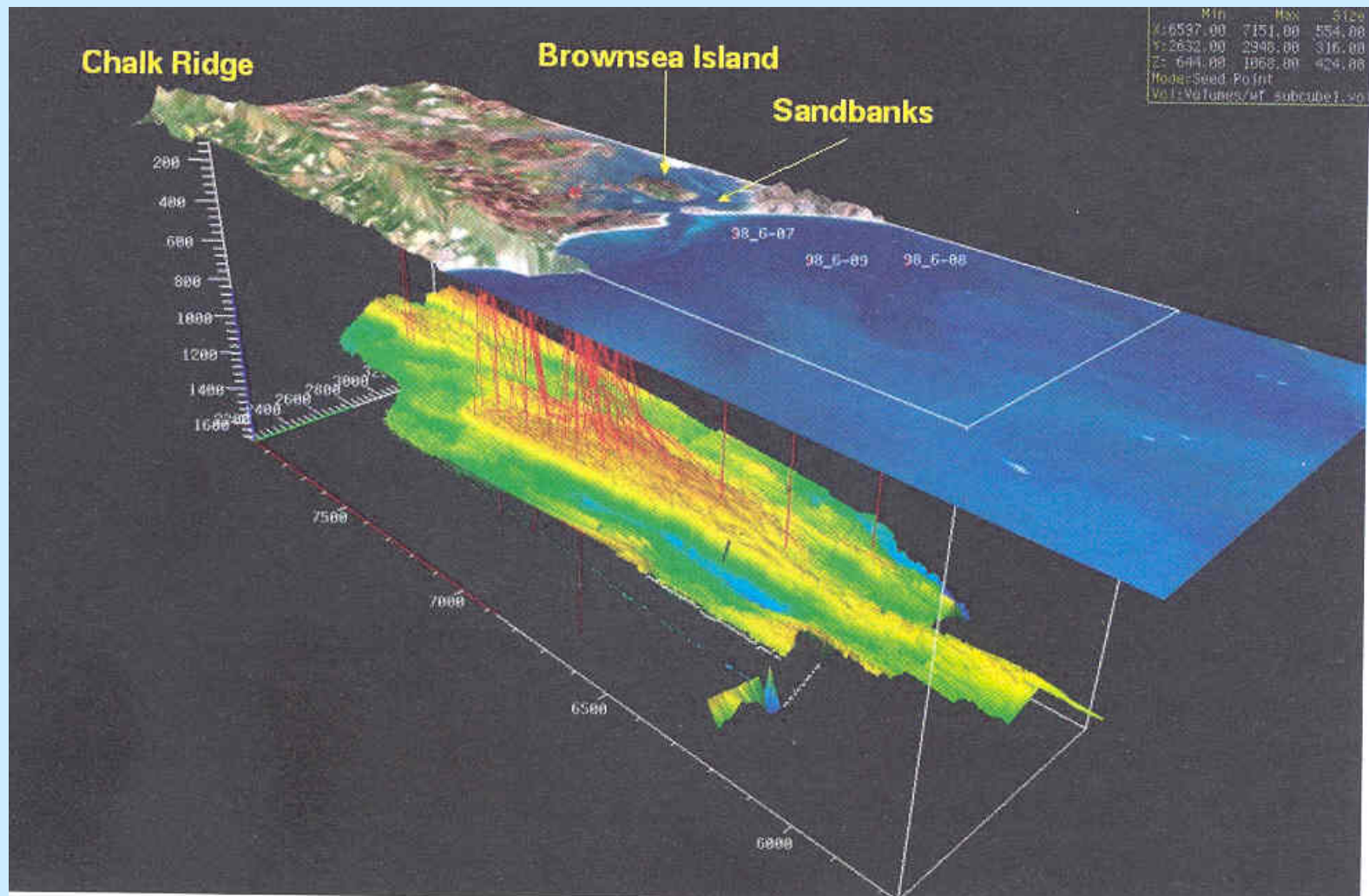


A 3D-s „kocka” lapjai mentén történő megjelenítés kínálja a még részletesebb prezentálást. Pl.: a forrás vonallal egybeeső mérési vonalakhoz tartozó szeizmikus szelvények (inlines), keresztvonalakhoz tartozó szeizmikus szelvények (crosslines), időmetszetek (time slices) megadása, két egymást keresztező szeizmikus szelvény, továbbá a szerkezettől és a megjeleníteni kívánt paraméterek változásától függően ezek kombinációja (pl. chair display, ami a [vertikális] szeizmikus szelvény és időmetszet együttes megjelenítése).

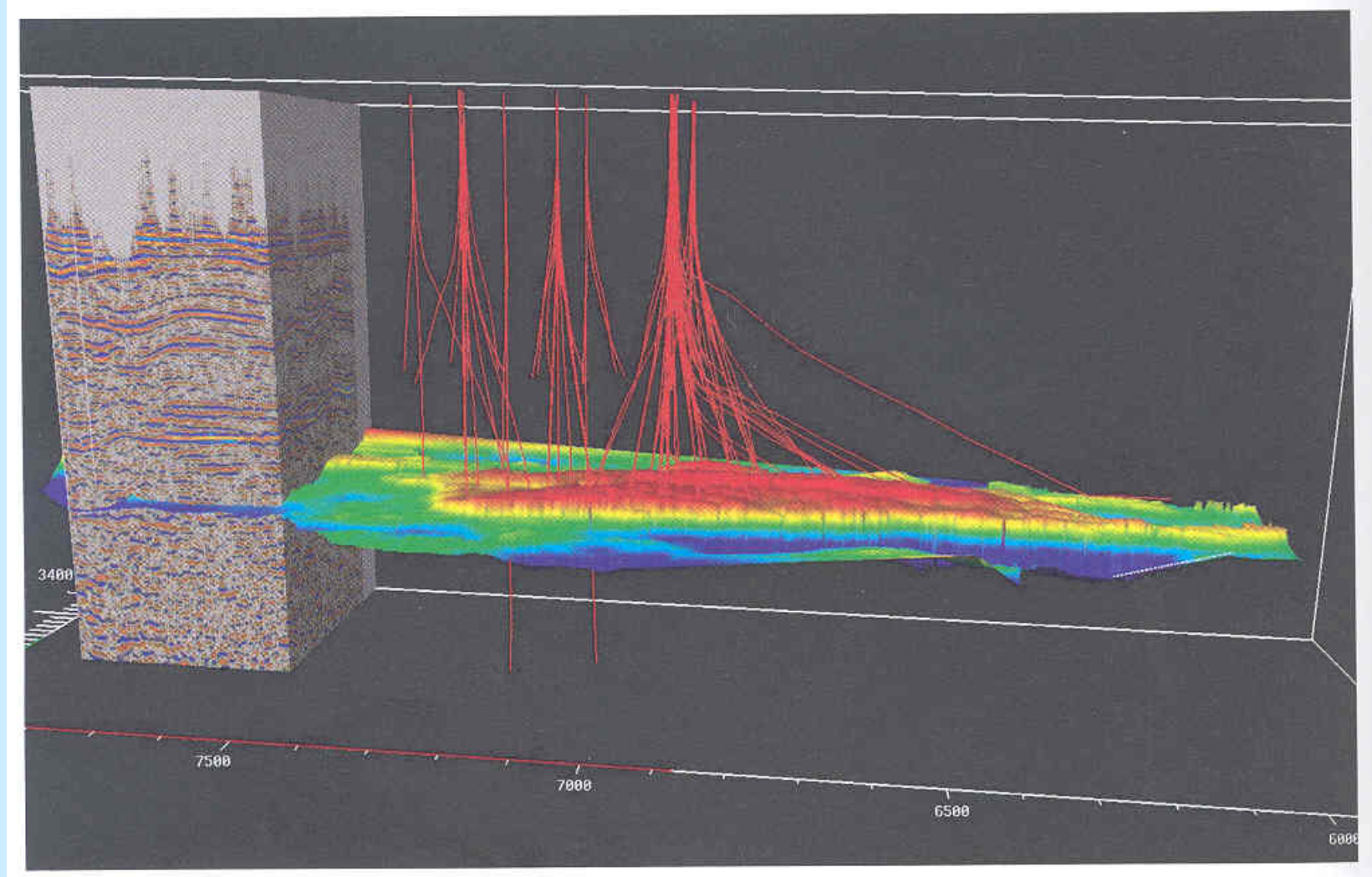


3D-s szeizmikus szelvények és időmetszetek kombinációja

Felszíni (műholdas topográfiai) és felszín alatti adatok együtt

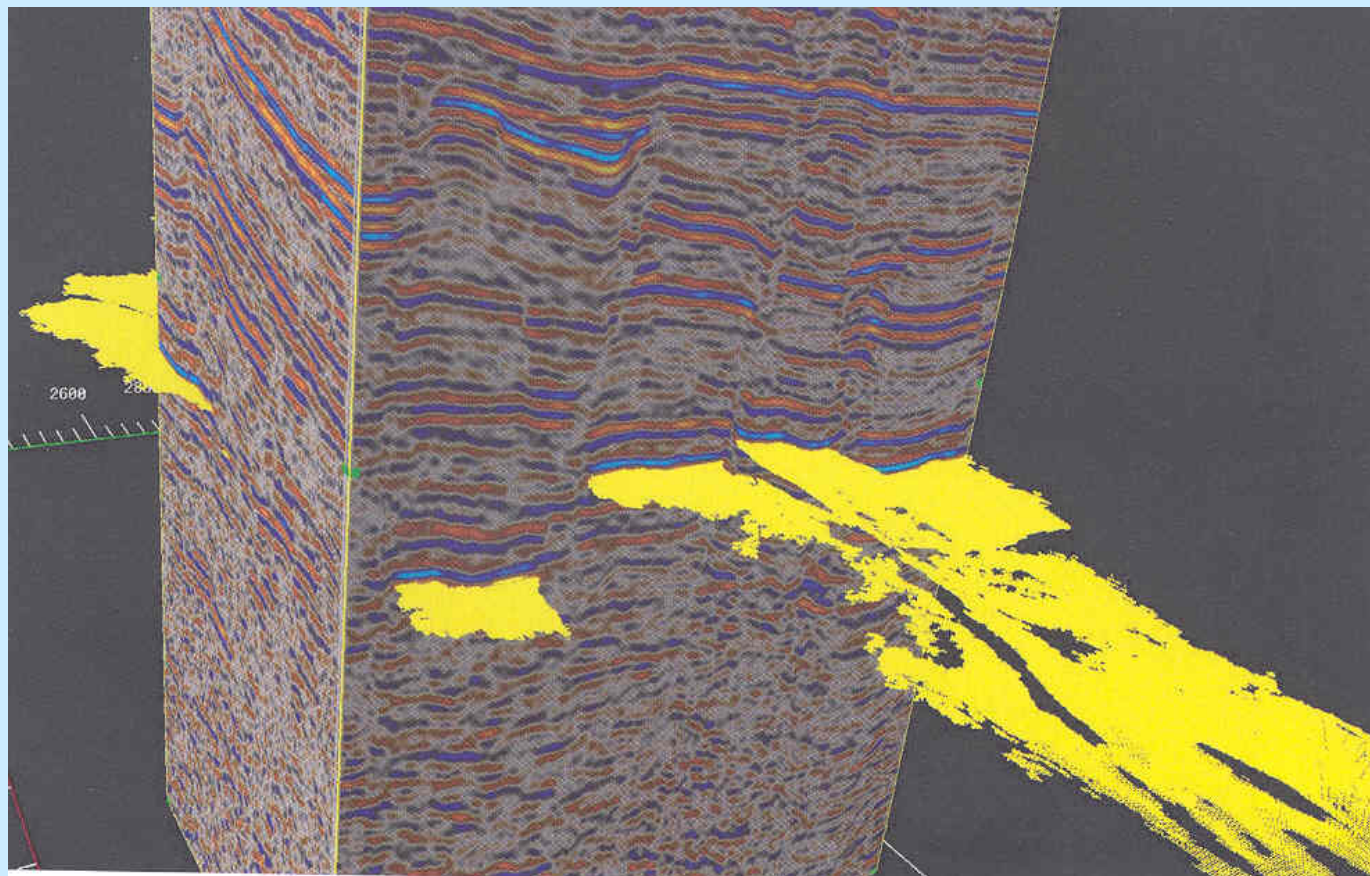


Telemetrikus mérések, 3-dimenziós feldolgozás, 3D-s kombinált adatmegjelenítés



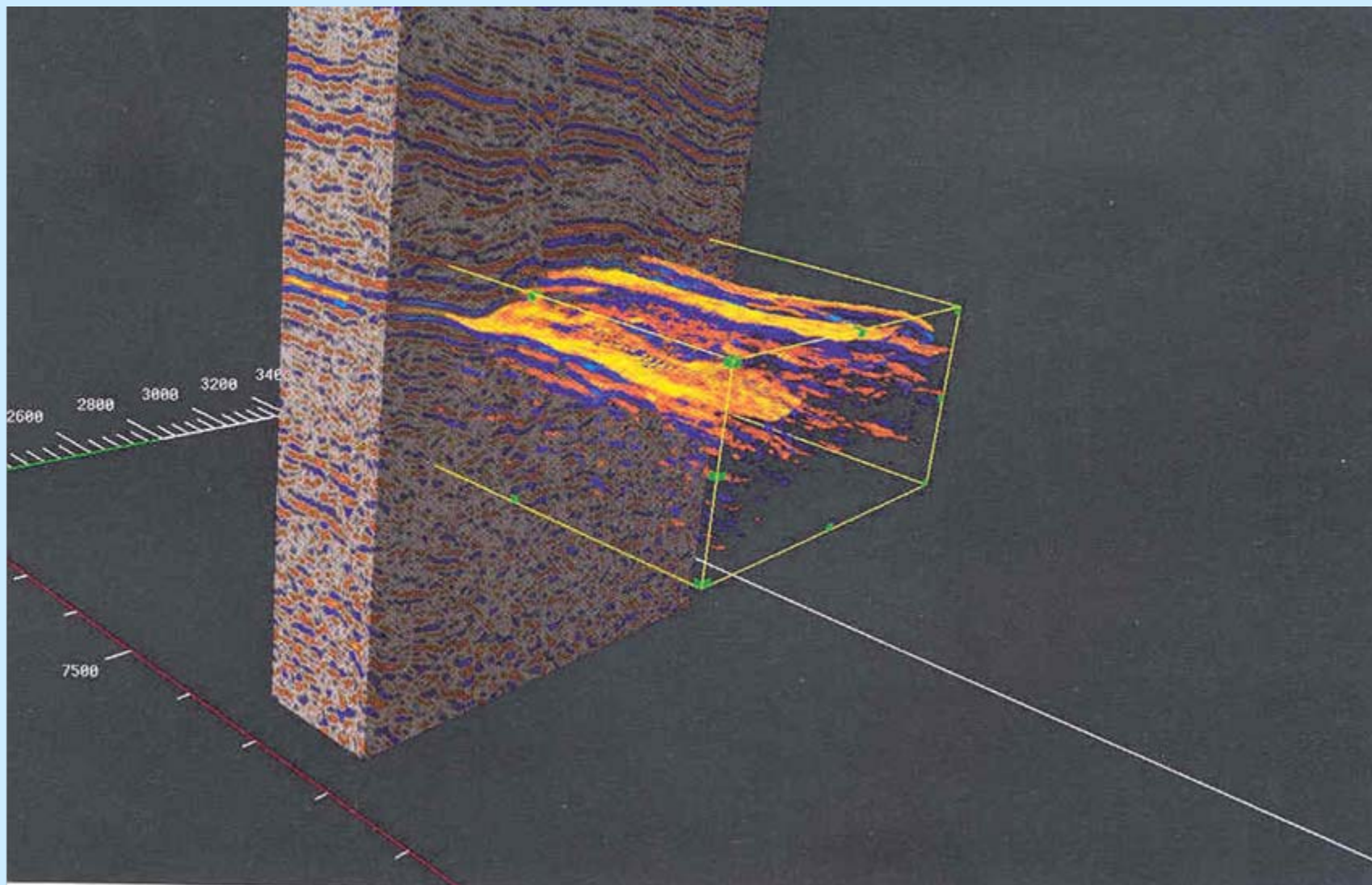
Szeizmikus adatok, a rezervoár tetejének megfelelő beérkezési idők, fúrások térbeli helyzete.

Bacon et.al.2007



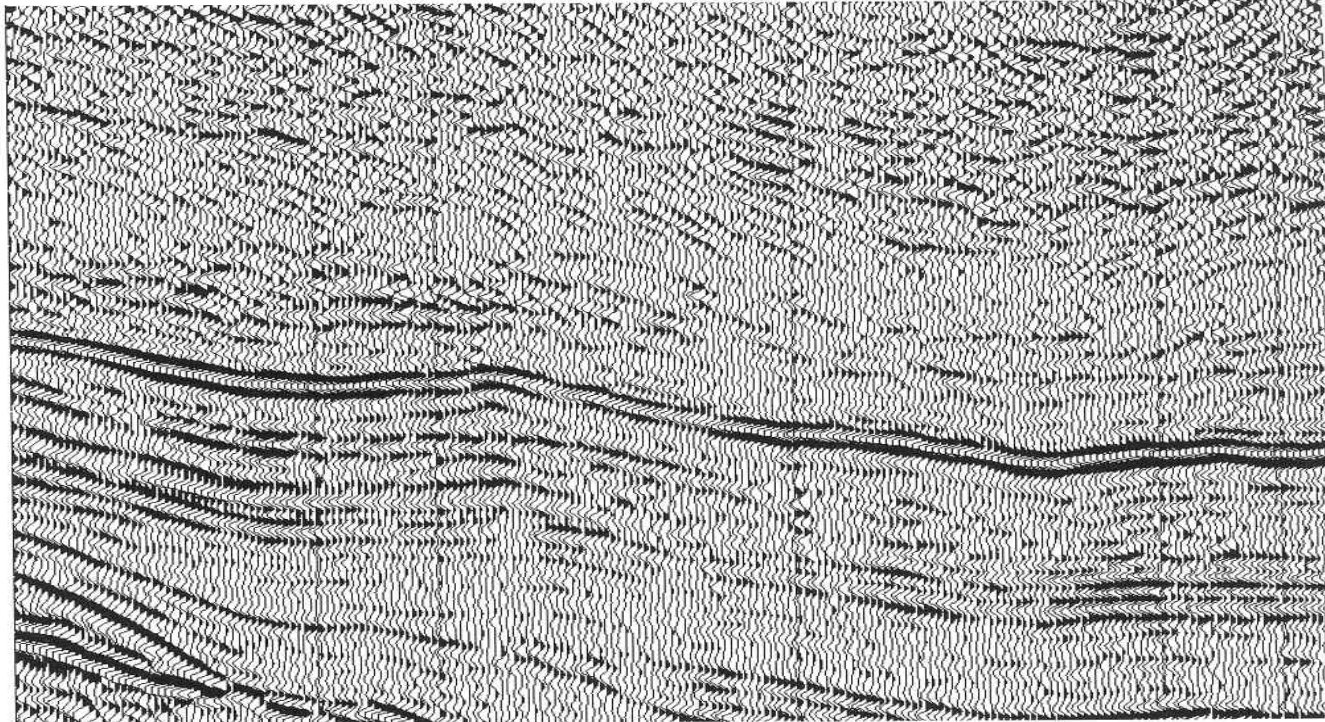
Szeizmikus attribútumok automatikus szintkövetése. Itt egy adott szint mentén a nagy amplitúdójú „helyeket” jelenítették meg.

Bacon et.al.2007



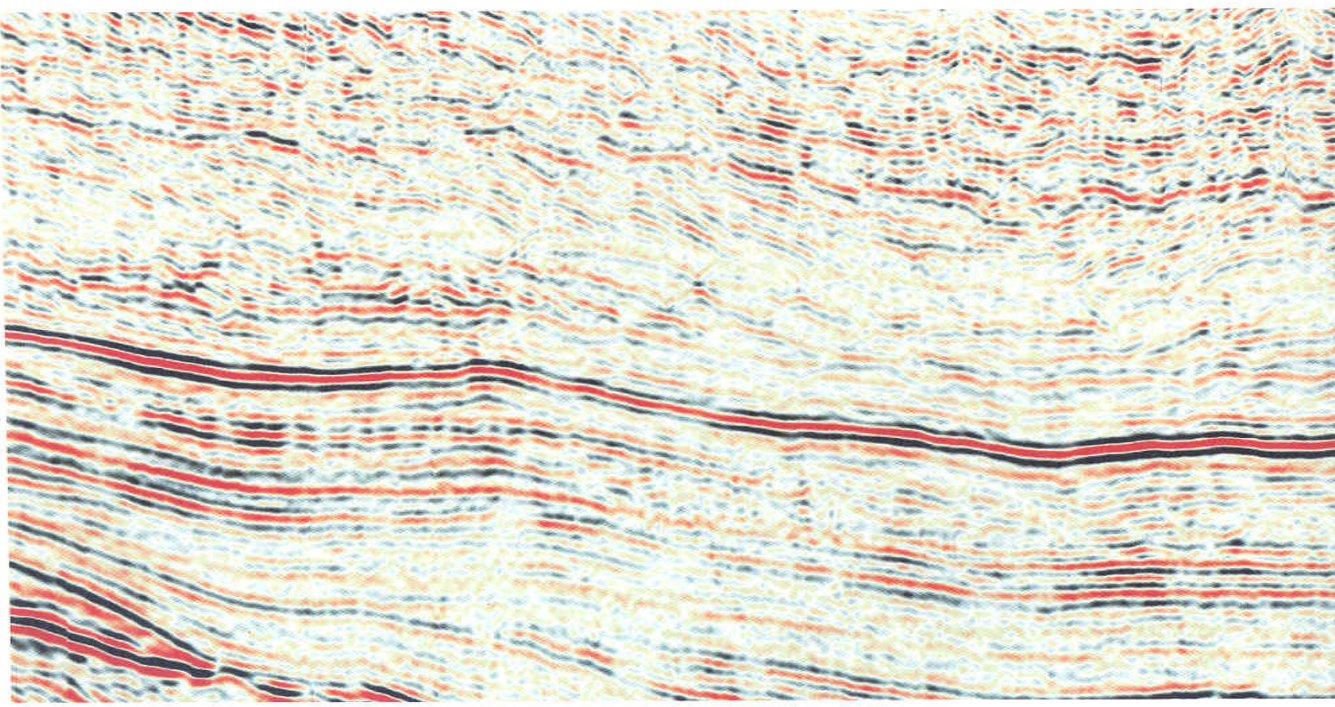
A teljes rezervoár 3D-s megjelenítése.

Bacon et.al.2007

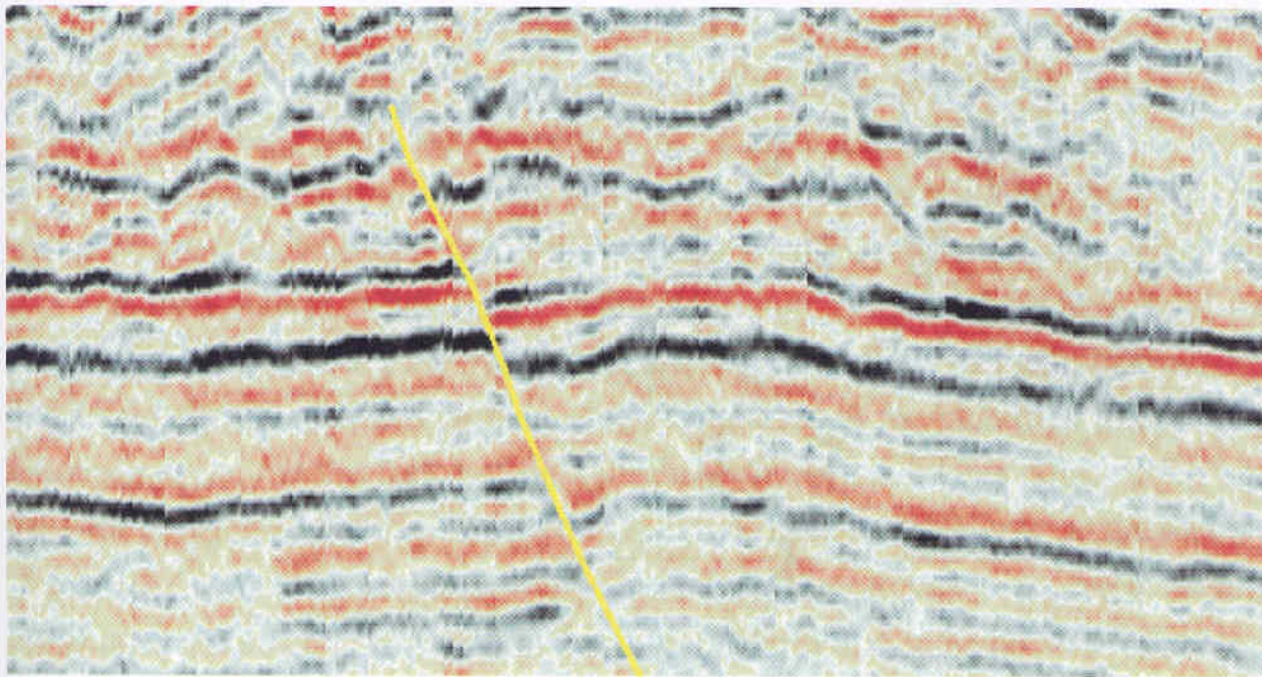


Szeizmikus szelvények

Ugyanazon anyag, alul
színezett formában.

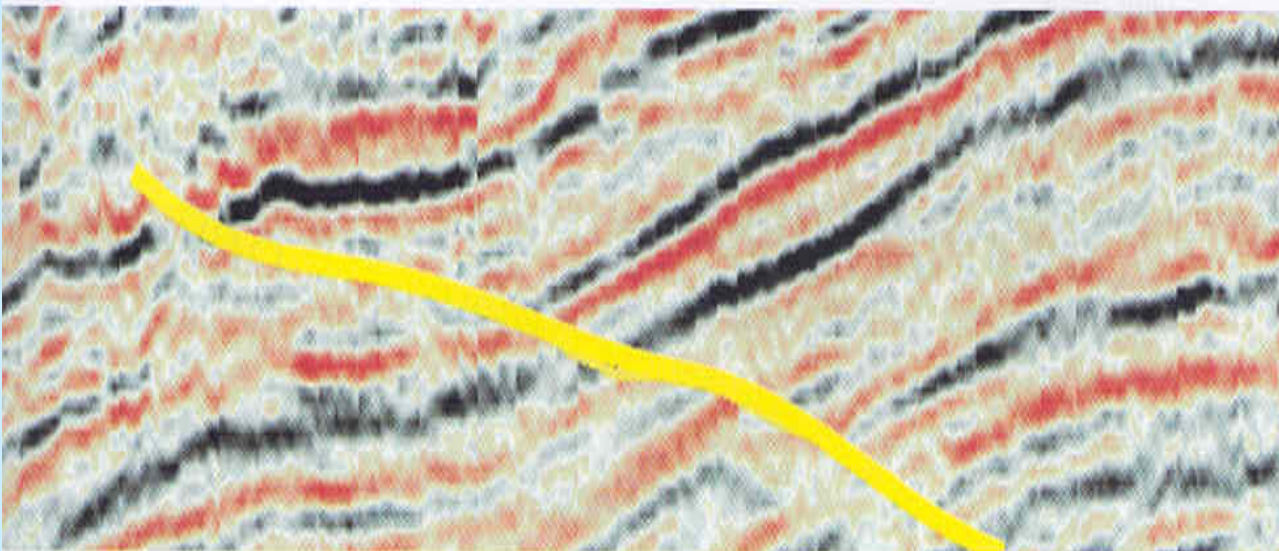


A szeizmikus reflexiós
szelvényeken a
reflektáló felületek
helyzete, azok dőlései,
vetők jól felismerhetők.

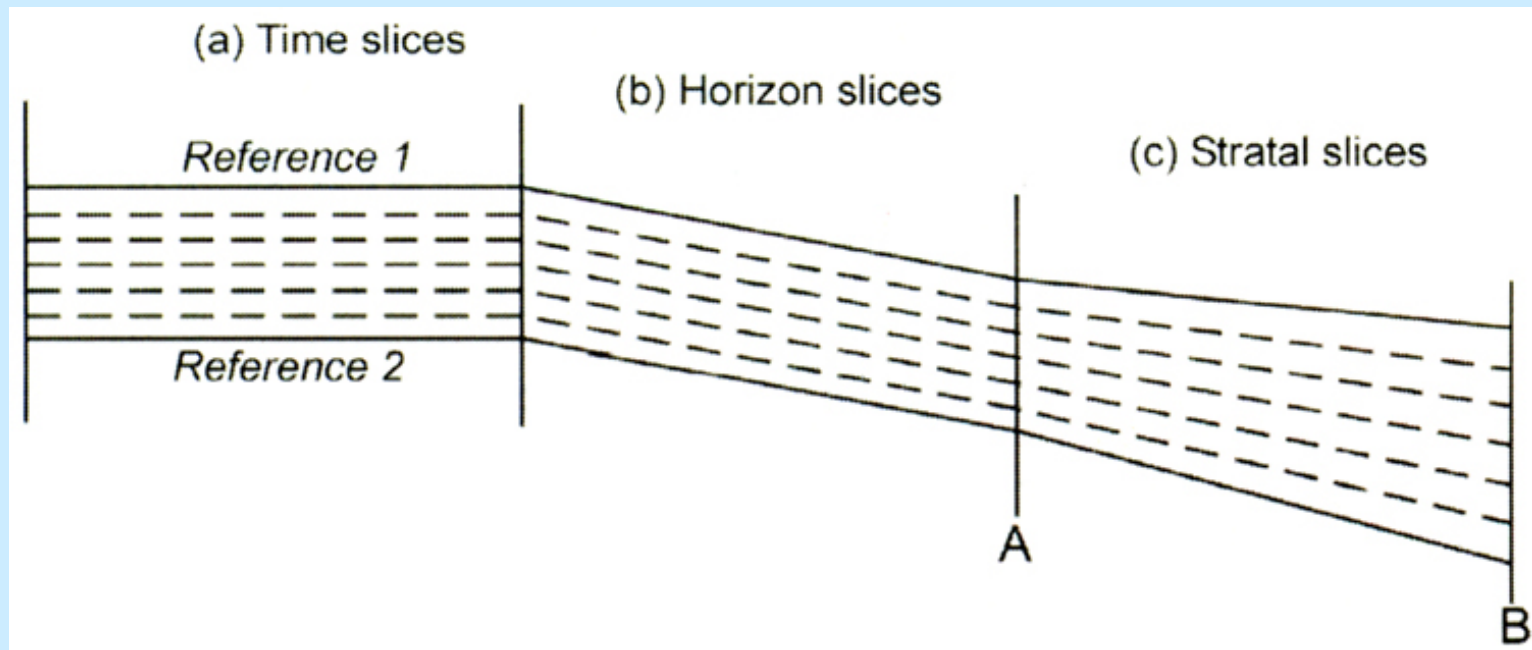


**Dőlés- (fent) és
csapás irányú (lent)
szeizmikus szelvény
normál vető esetén.**

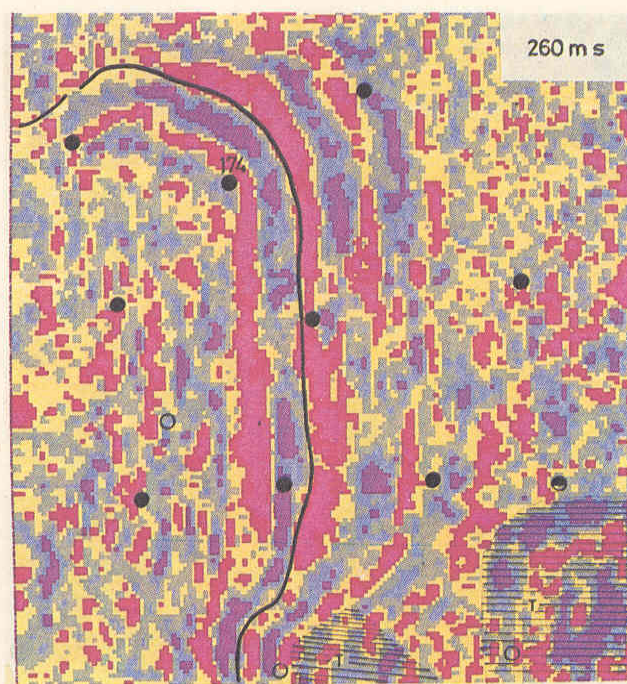
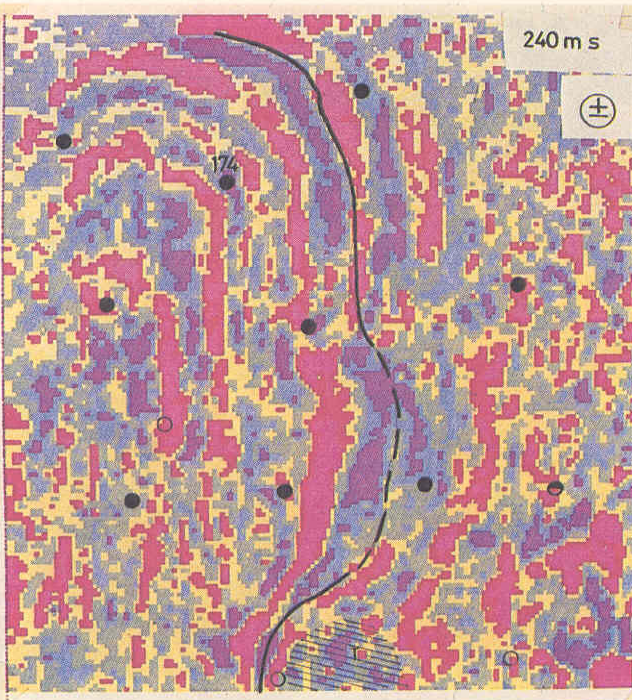
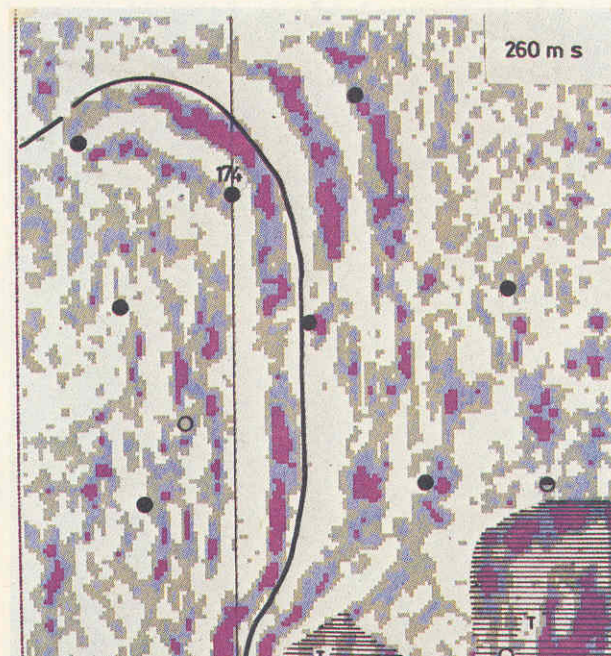
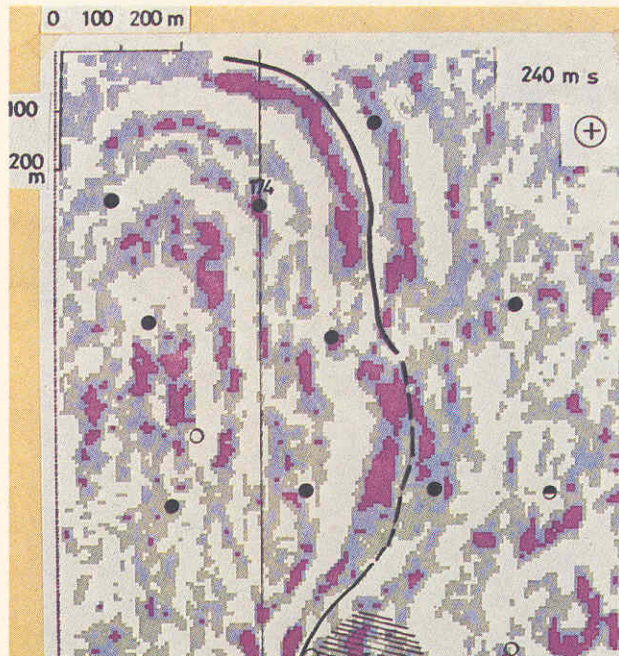
**A dőlésirányú
érzékeltetí az
elvetési
magasságot.**



Bacon et.al.2007

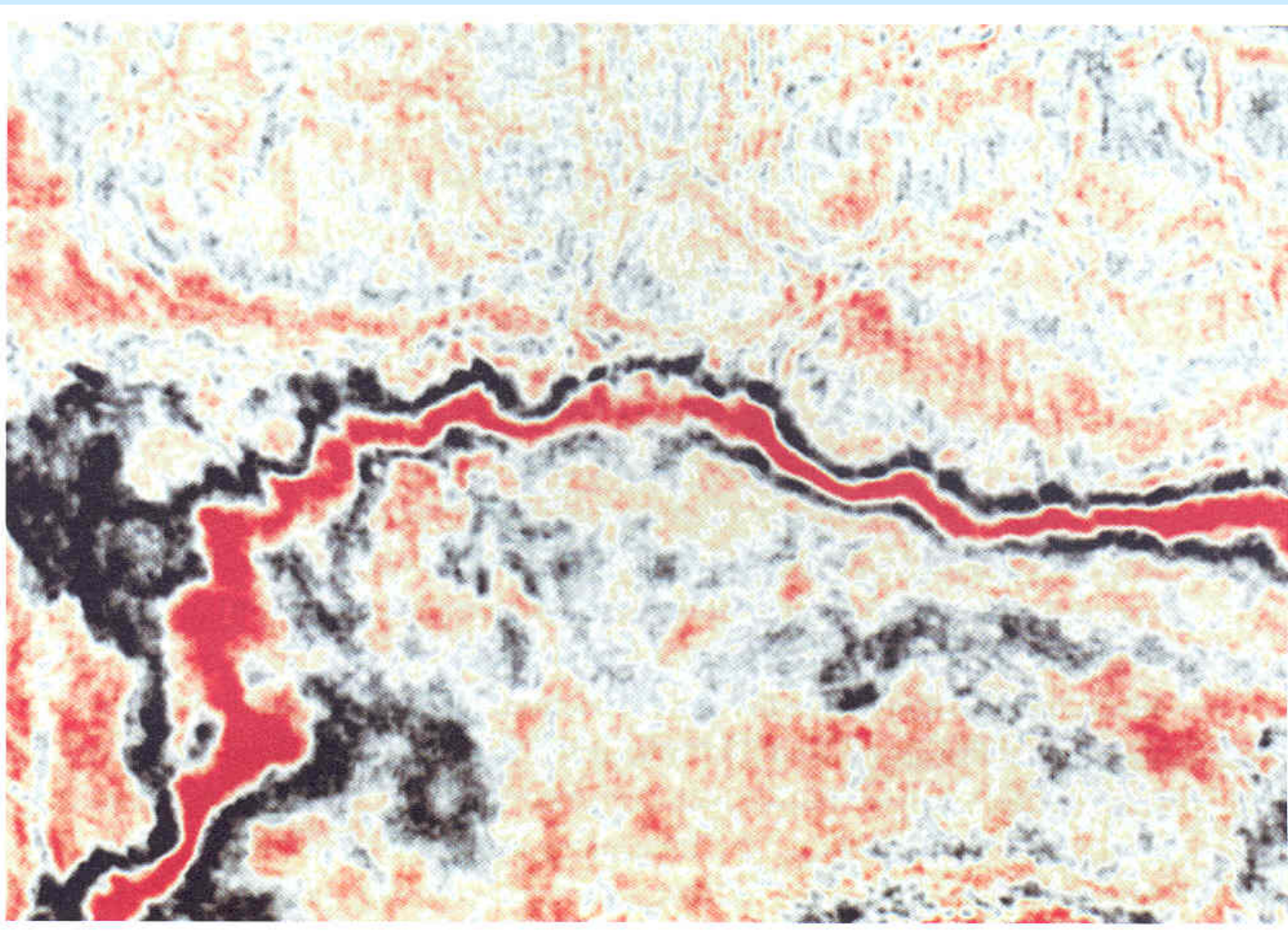


Az időmetszetek $t=\text{áll.}$ értékhez tartozó „vízszintes” metszetek. Az üledékképződés körülményeiről jó képet adnak vízszintes v. közel vízszintes település esetén. A reflektáló felületekre érdemes megadni a szeizmikus attribútumokat (pl. eocén-oligocén, oligocén-miocén határfelületekre). Ha ezen vezérszintek között a vastagság állandó, akkor a vezérszintekre és köztük a vezérszintekkel párhuzamos metszetekre adják meg a szeizmikus jellemzőket (horizon slices). Ezeket szintszeleteknek nevezzük. Mivel a jól reflektáló határfelületek párhuzamossága ritkán teljesül (lásd c, ábra), ezért célszerű egyenlő geológiai időközű metszéseket alkalmazni (stratal slices, rétegen belüli metszetek), amelyek az egyszerűsített ábrán itt sík felületek, a valóságban ettől általában eltérőek.



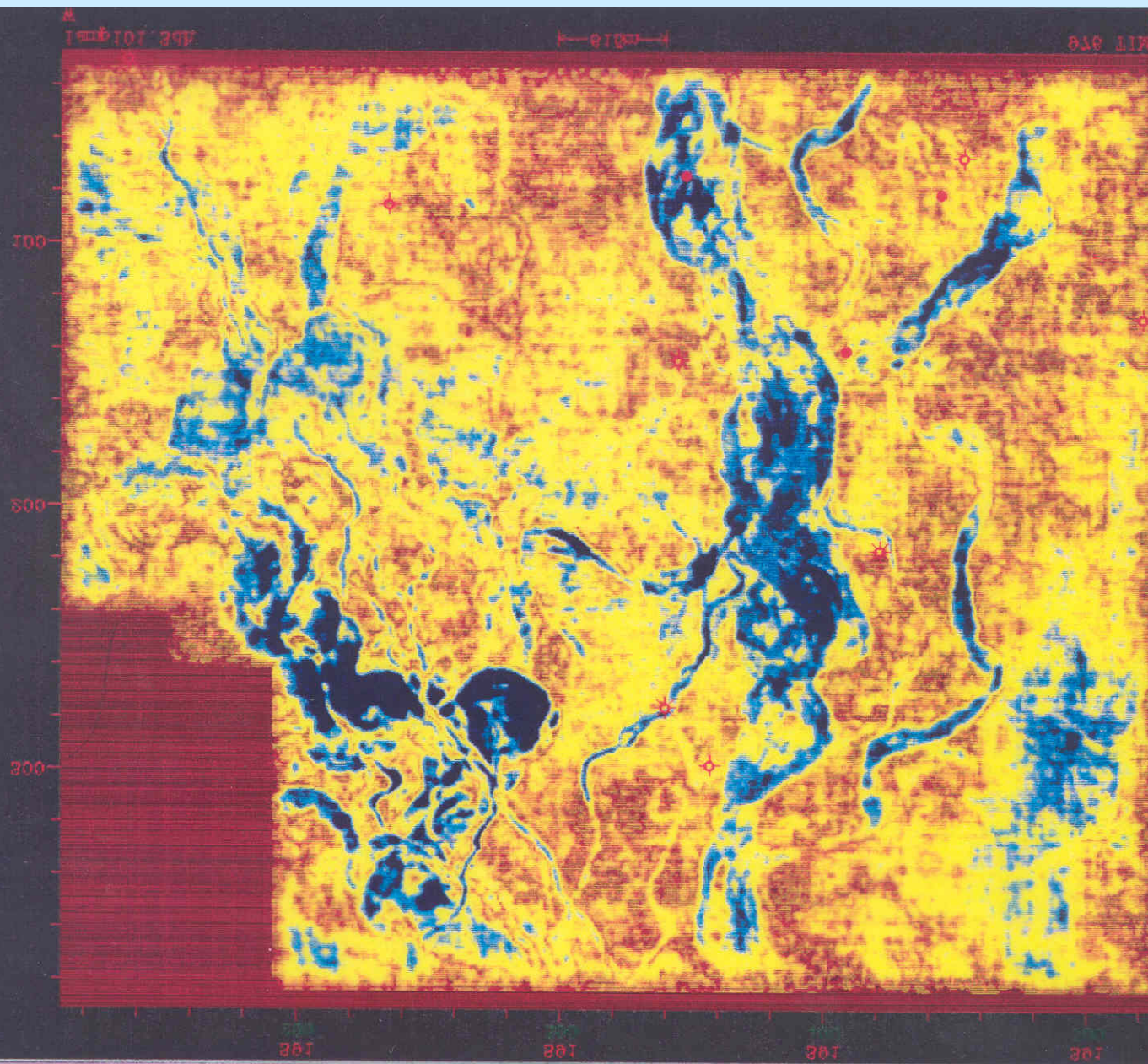
IDŐMETSZETEK

Színezés egyik fázis szerint (felül), színezés mindkét fázis szerint alul (ELGI 1982, Adam O. 1987)



Az időmetszet
(timeslice) alkalmas
(lehet) az
üledékképződési
formák
megállapítására és
azok területi
elhelyezkedésére.

Az időszak tehát
nem mélységmetszet,
de a hozzá tartozó
szeizmikus
attribútumok eloszlása
gyakran hasonlít az
időértéknek legjobban
megfelelő
mélységszint
szeizmikus
attribútumaihoz.



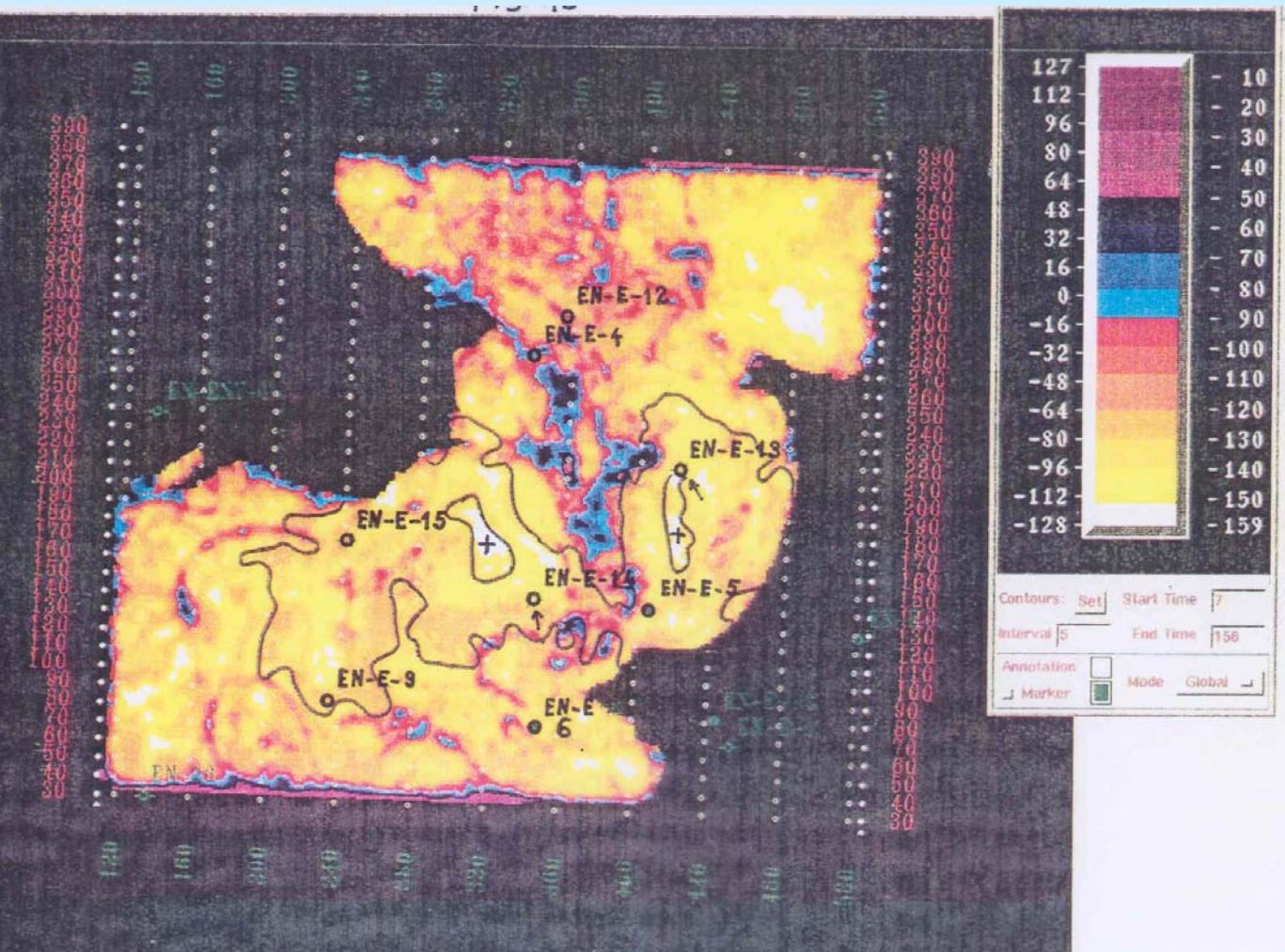
Amplitúdó-erősség
time slice egy 3D-s
kutatási területről,
 $t=976\text{ms}$.

A vertikális
szelvényeken az itt
látható édesvízi
környezetre
jellemző üledékek
nem ismerhetők fel.
Itt viszont jól látható
a Felső-Pannon
LMT üledékei
(meanderező
csatornarendszerek
, delta üledékek,
stb).

Forrás: GES

Szintszelet- Horizon slice

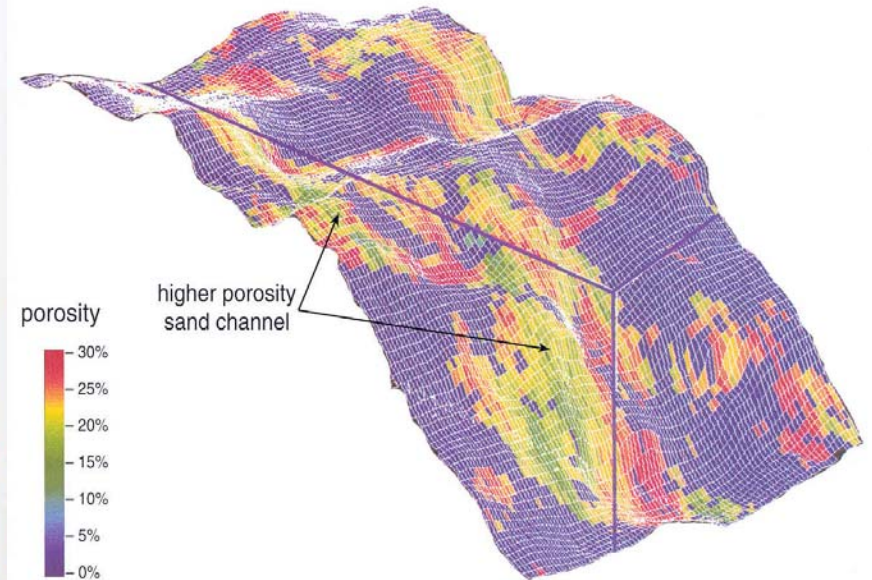
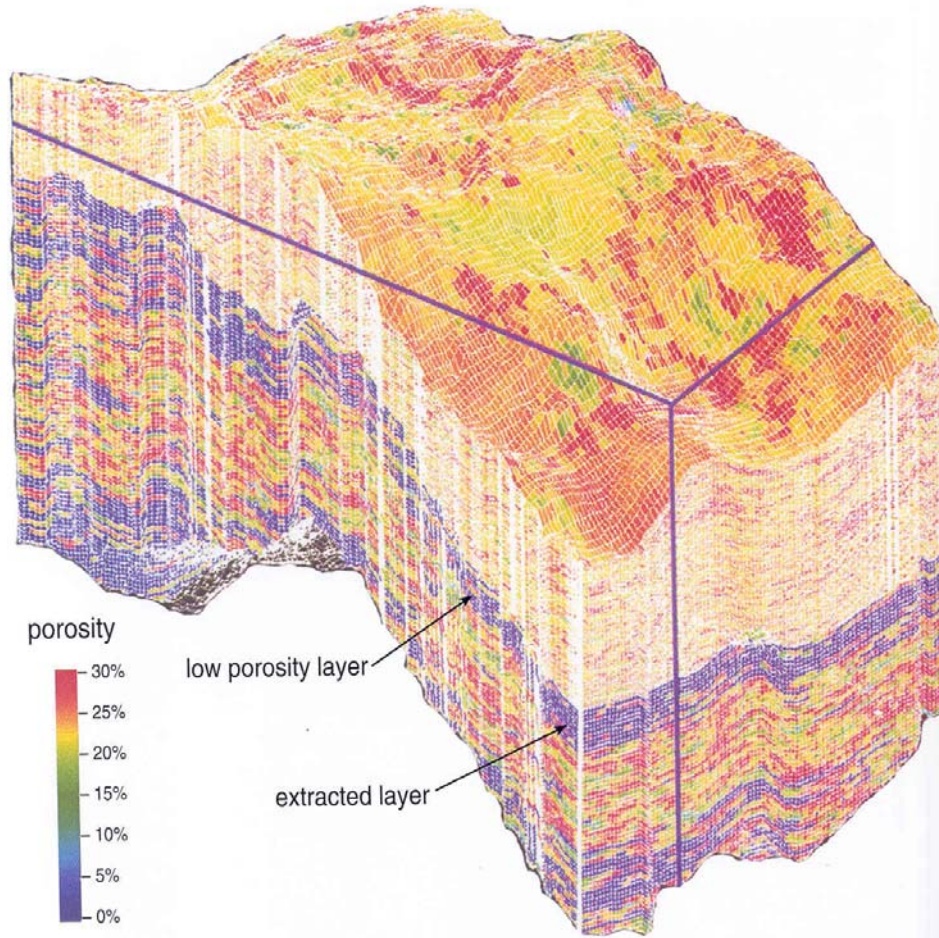
A reflexiós felület (pl. szerkezeti CH tárolók, vagy pl. eocén képződmények teteje térben) ált.-ban szabálytalan felület. Ezen felületre megadott szeizmikus attribútum eloszlás a horizon slice (szintszelet).



HORIZON SLICE a szerkezeti térkép maximum helyeivel. A maximális amplitúdójú helyek fehér és sárga színnel jelentkeznék és ott vannak ahol a szerkezeti kiemelkedések.

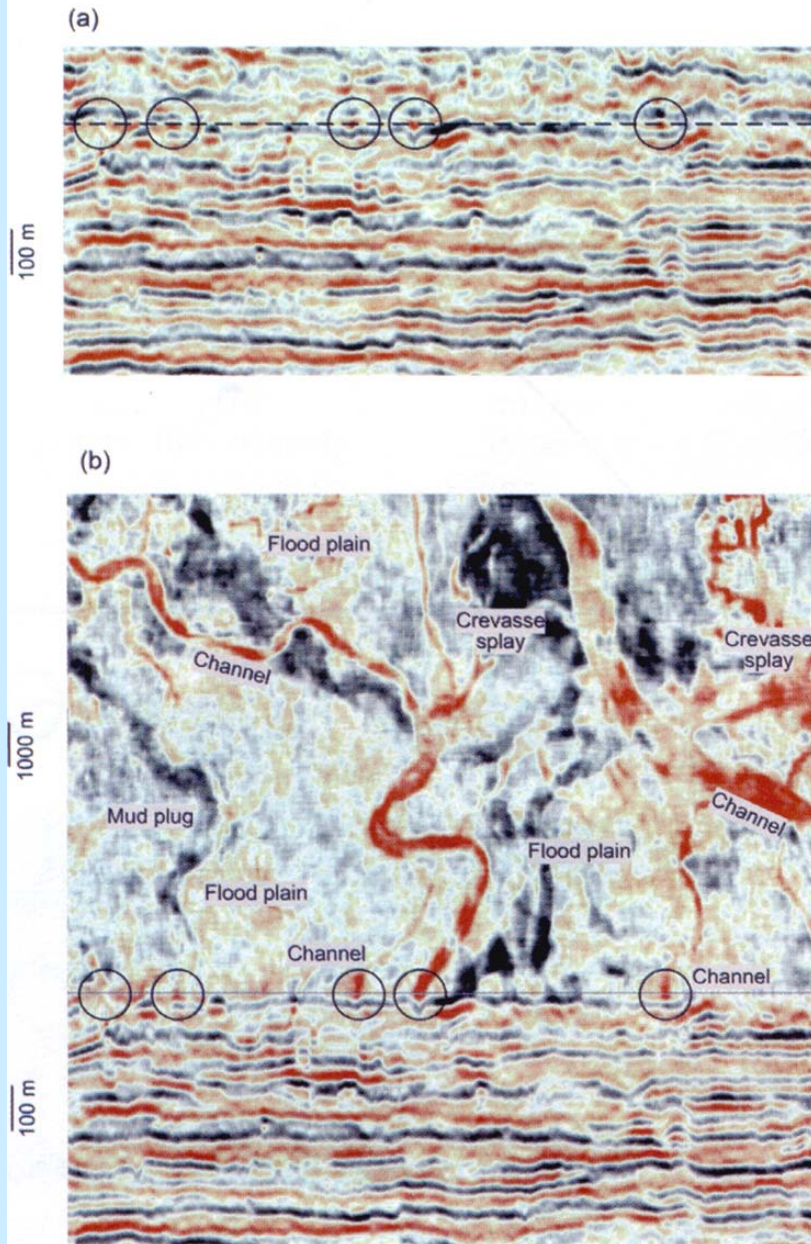
Forrás:GES

Porozitás 3D-s szemléltetése



A porozitás - akusztikus impedancia közötti empirikus kapcsolat megadása (mely a gáz sapka és a fluidummal telített formációk esetén eltérő) az átlagolt (karotázs) szónikus mérések és szeizmikus időszelvények integrálása alapján lehetséges. A karotázs szelvényadatok integrálásával az invertált impedancia szelvényből határozzák meg a porozitás eloszlást (Dvorkin et. al. 2004). Az invertált impedancia szelvény ismeretében a gázos rétegek jól elkülöníthetők a folyadékkal telítettektől.

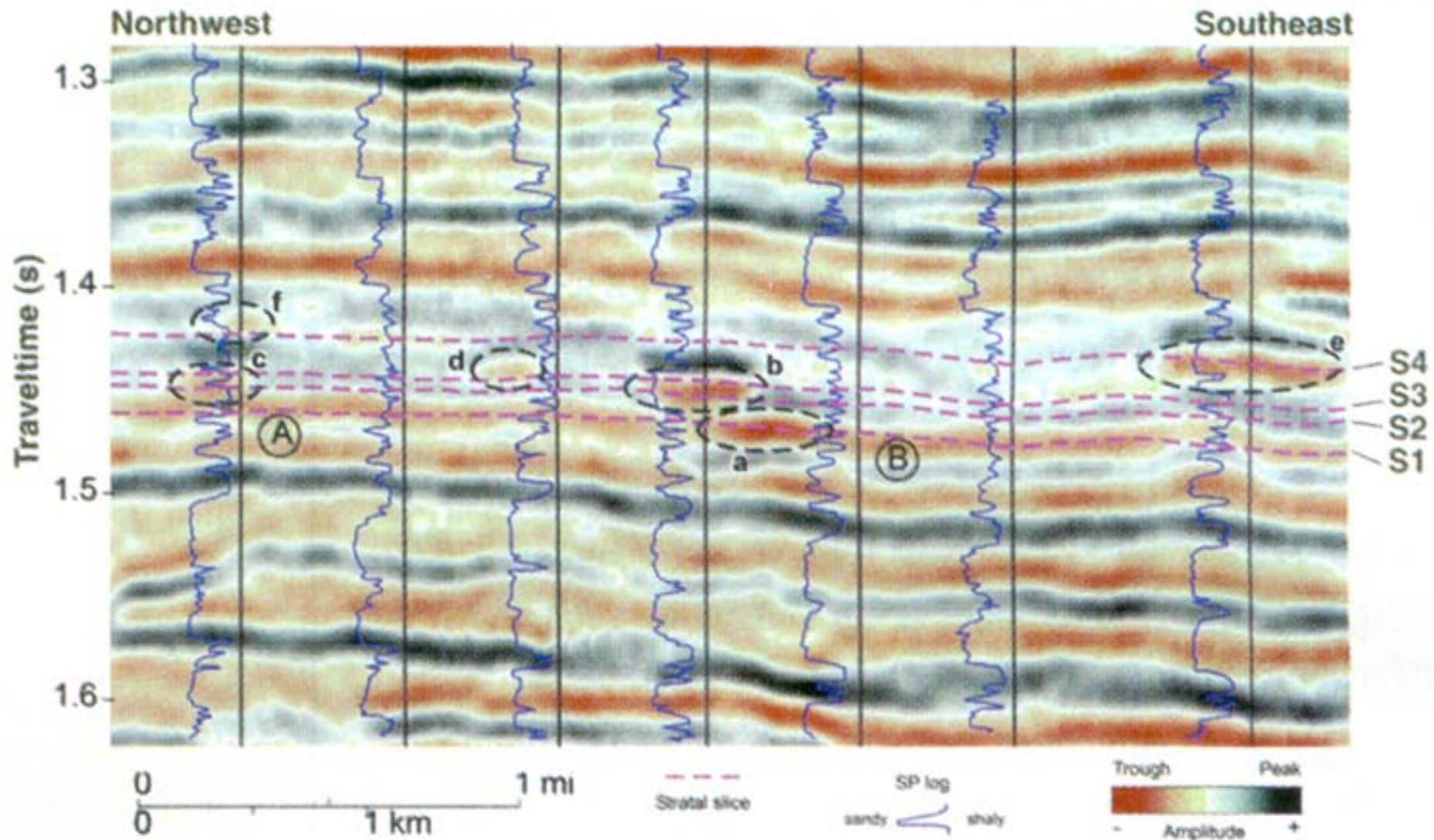
Stratal slices



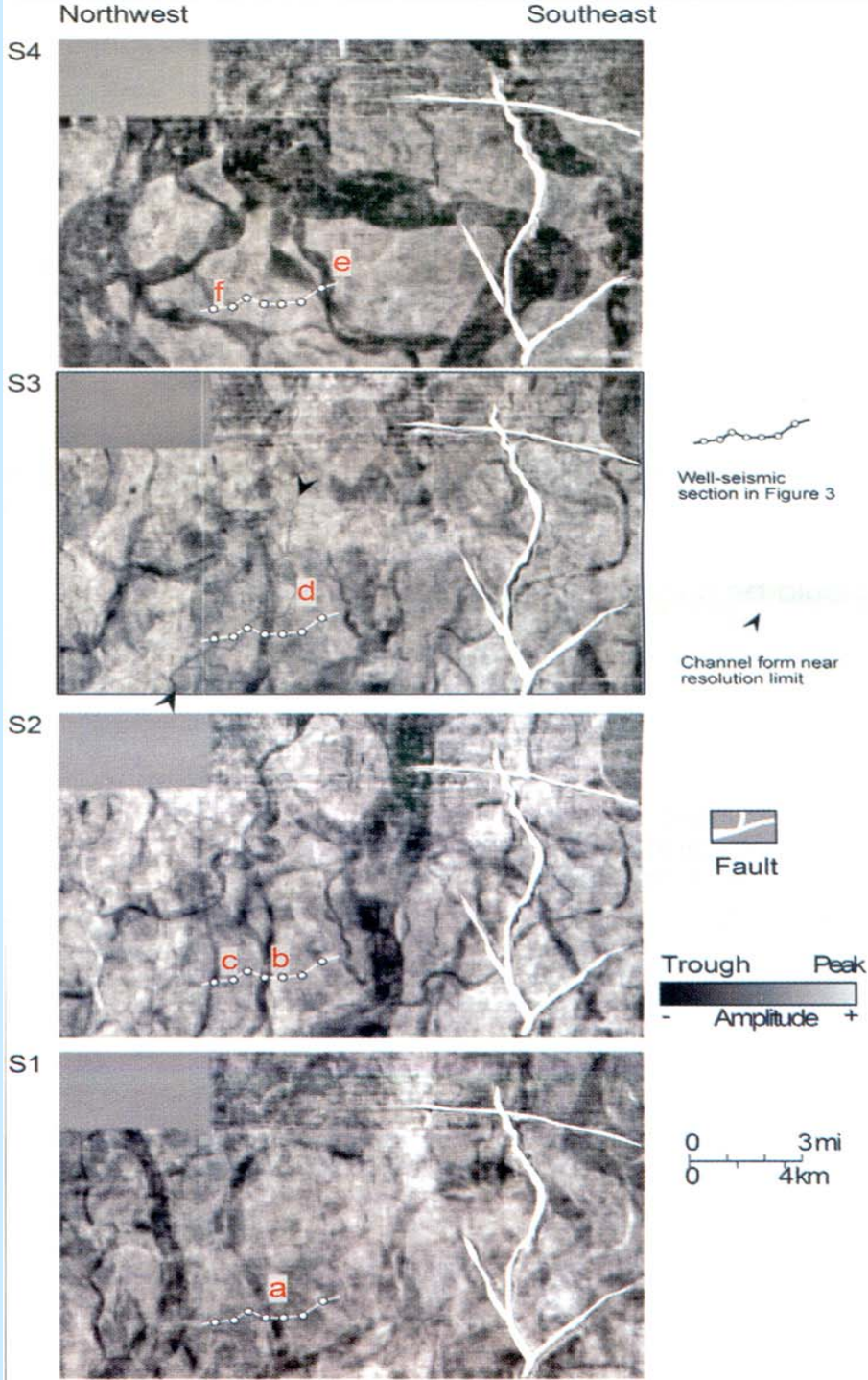
Rétegen belüli metszetekre szeizmikus attribútumok megadása. A szeizmikus időszelvények vertikális felbontásához képest jobb horizontális felbontás érhető el. A vertikális felbontás itt 10m, ami a közetsebességből és a 30Hz domináns frekvenciából adódik.

Szeizmikus időszelvény (felül)

Amplitúdó stratal slice (alul)



Pliocén rétegekben (Mexikói Öböl) S1-S4 szaggatott vonalak jelölik a stratal slice-okat. A szeizmikus reflexiók beérkezési időkülönbség köztük változó, mint pl. A és B fúrásokban S1 és S2 között. A bekarikázott szaggatottan jelölt képződmények homokkő egységek. A módszer nem alkalmazható diszkordáns település esetén.



Amplitúdó stratal slice-ok (rétegen belüli metszetek) az előző ábra reflexiós szelvényének S1,S2,S3,S4 vonalai mentén. Az előző ábra szeizmikus szelvényének a vetülete és az ott bejelölt homokkő formációk helye fel van tüntetve. A pozitív nagy amplitúdójú jelek világos, a negatív nagy amplitúdójú helyek sötét színnel jelentkeznek. A vetőrendszer a bemutatott pliocén rétegsor teljes vertikumában jelentkezik.

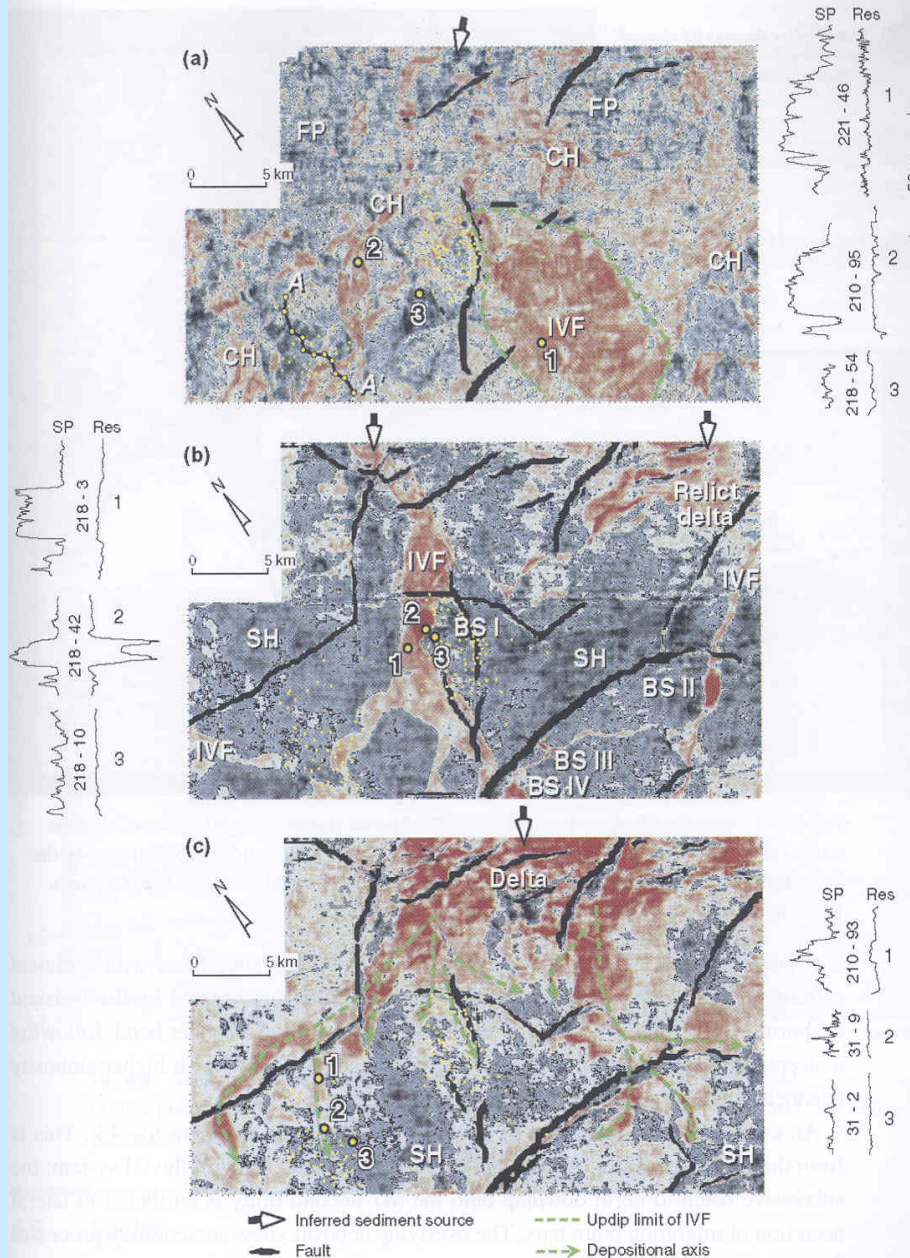
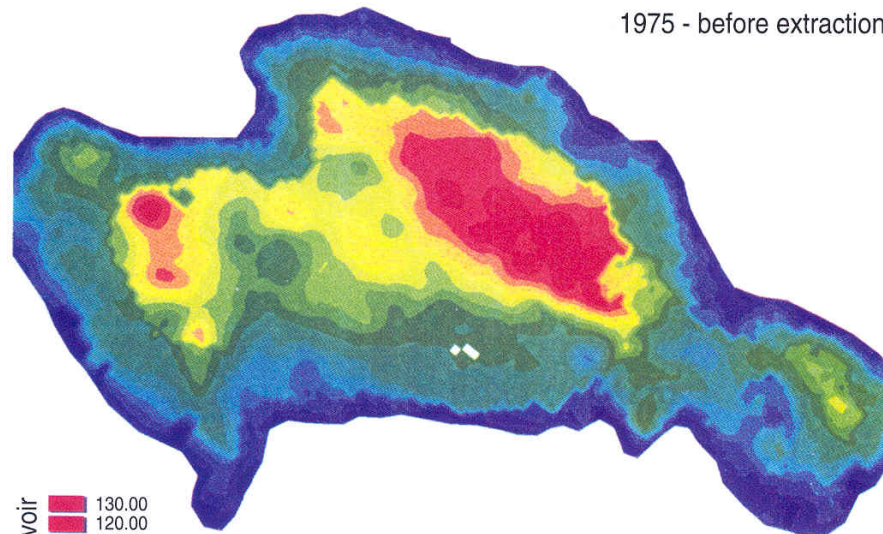


Fig. 4.7 Amplitude stratal slices showing (a) a Pliocene coastal plain, (b) an Upper Miocene incised valley fill, and (c) an Upper Miocene highstand shelf delta system. CH = channel, FP = floodplain, IVF = incised valley fill, SH = shelf. Reproduced with permission from Zeng *et al.* (2001).

Pliocén parti síkság folyóvízi csatornakitöltésekkel (barna) felfelé finomabb szemcsefrakcióval és agyaggal (szürke).

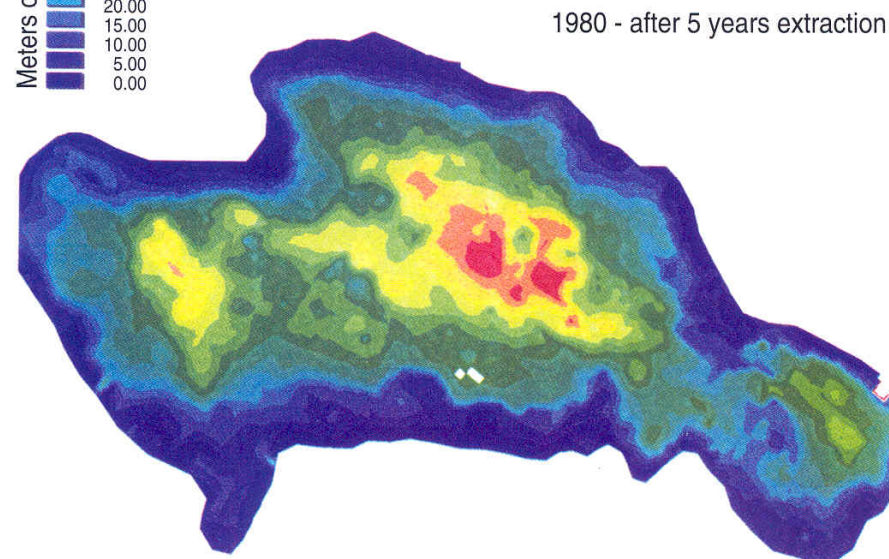
Felső Miocén bevágott völgykitöltés

Felső Miocén magasvízi párkány delta-rendszer



Meters of oil bearing reservoir

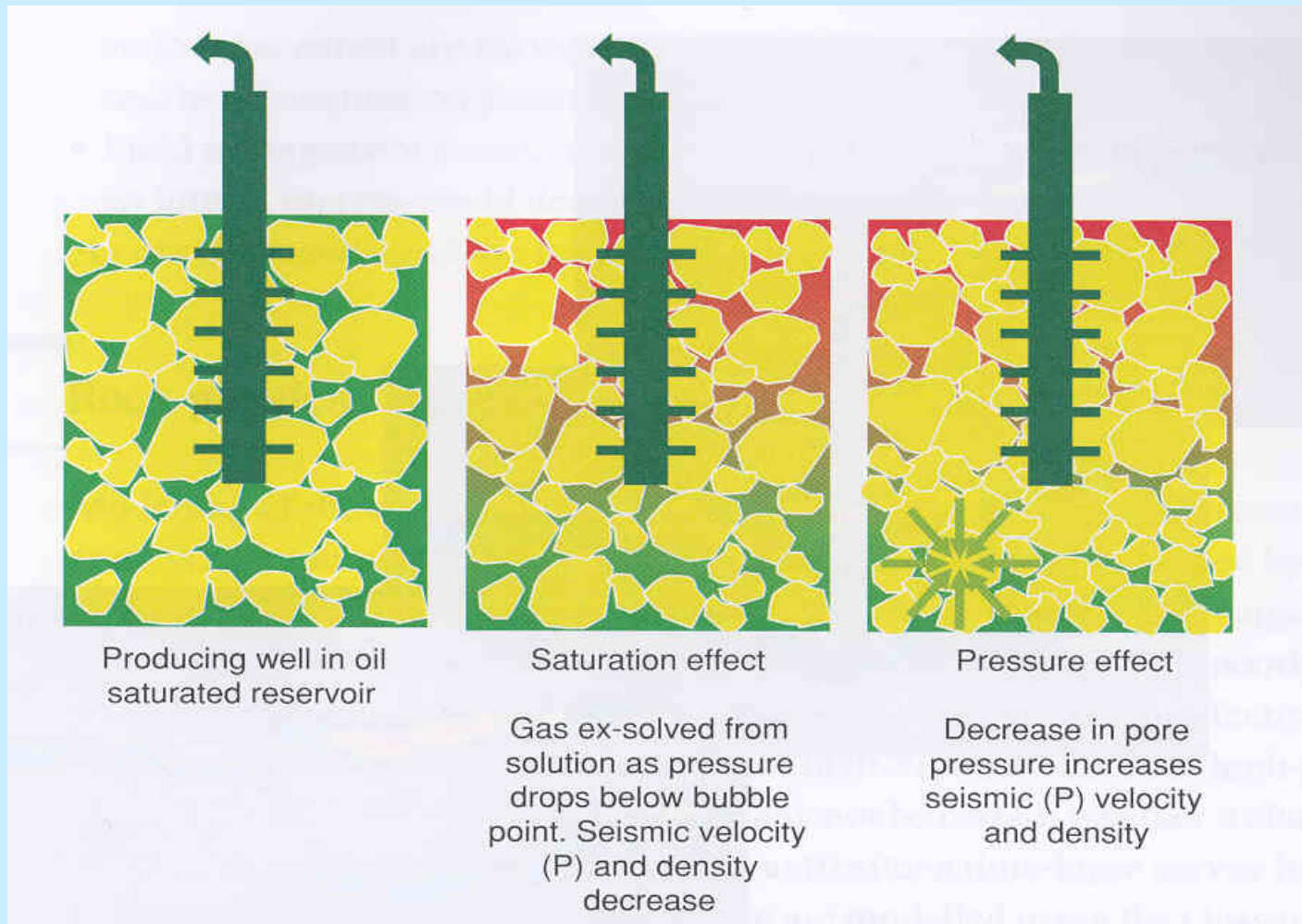
130.00
120.00
110.00
100.00
90.00
80.00
70.00
60.00
50.00
40.00
30.00
25.00
20.00
15.00
10.00
5.00
0.00



CH- telep vastagság
térképe termelés előtt
(fent) és 5 évig tartó
termelés után (lent).

Mussett et. al. 2000.

Termelőkút környezetében változások a formáció fizikai paramétereiben

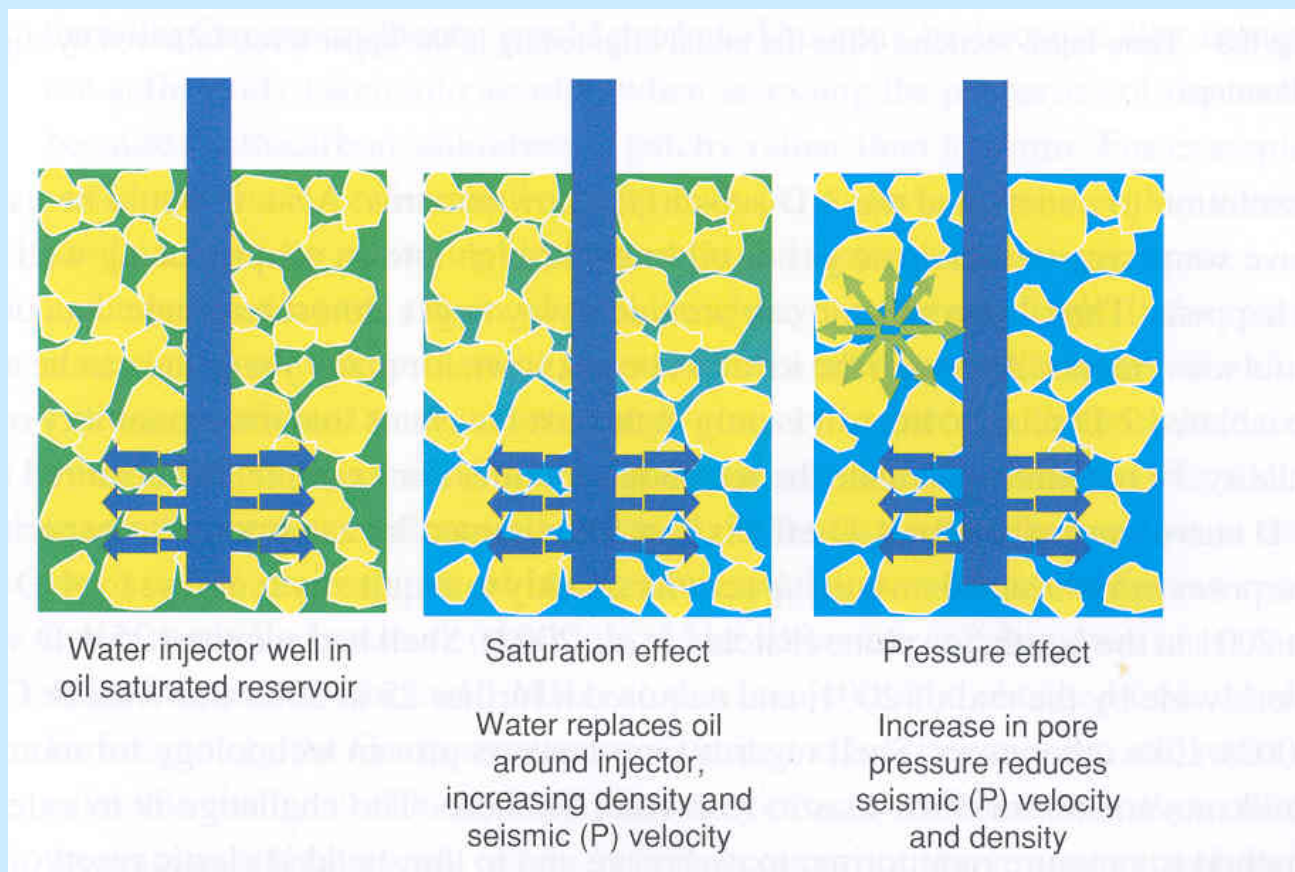


Kőolajat
termelő kút

Buborék pont alatt gáz
kiválás, amely sűrűség és
P hullám sebesség (így Z)
csökkenéséhez vezet.

Ugyanakkor a pórus
nyomás csökkenés miatt
mind a sebesség, mind a
sűrűség értéke megnő.

Víz besajtoló kút környezetében változások a formáció fizikai paramétereiben

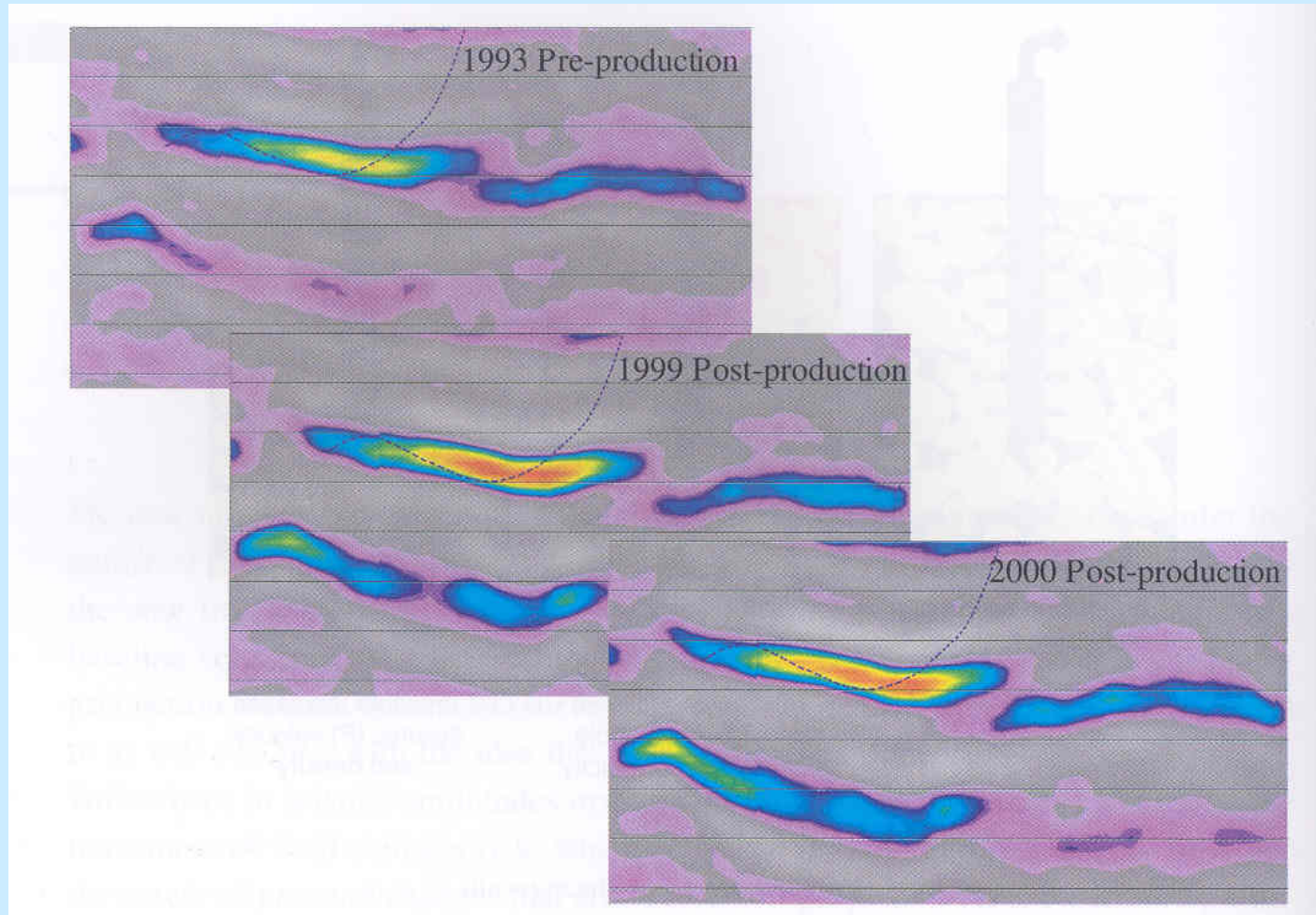


Vízbesajtolás olajjal
telített tárolóba

A víz a besajtoló kút
környezetében
kiszorítja az olajt,
sűrűség és P sebesség
növekedést okozva.

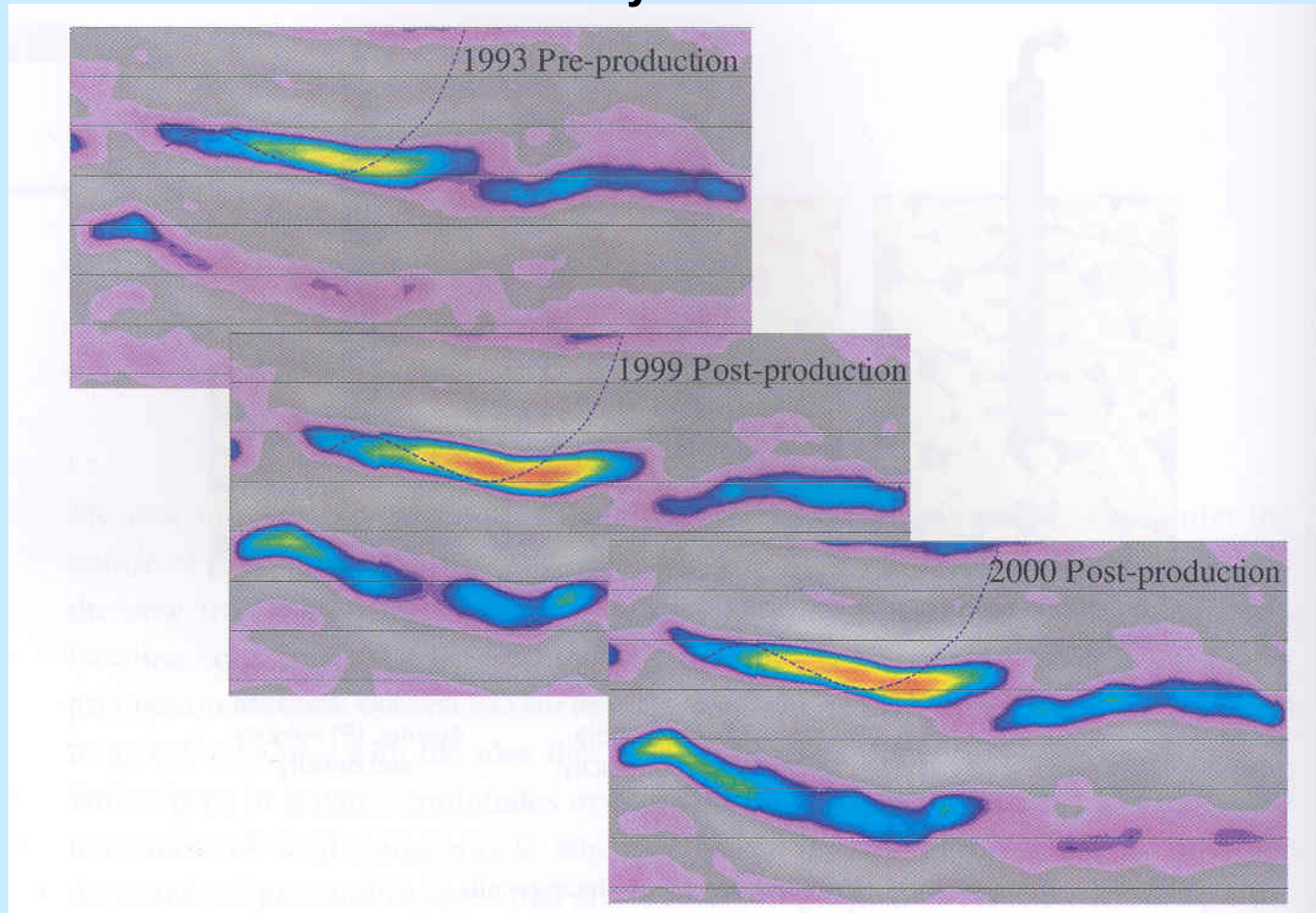
A pórus nyomás
növekedés viszont
csökkenti a P
sebességet és az átlag
sűrűséget.

Time-lapse seismic: a rezervoár termelése során bekövetkező változások nyomon követésére



UK paleocén mező. A homokos tároló felső részében gázkiválás jelentkezik a termelés miatt (élénk szín, akusztikus impedancia növekedés). Későbbi dimming („elhalványodás”) oka a gáz újra oldódása vagy a kiszorító víz megjelenése lehet.

Time-lapse seismic: a rezervoár termelése során bekövetkező változások nyomon követésére



4D-s szeizmika, a 4. változó az idő. Pl. a termelés során a gázsapka kiterjed, egyre nagyobb térfogata lesz. El szeretnénk kerülni, hogy a termelő kútba gáz kerüljön. Megoldhatja a feladatot a 4D-s szeizmika. A kiindulás mindig a termelés megindítása előtt felvett alapszelvény, ezt követik az ugyanazon helyen felvett mérések monitoring céllal.

Mélyfúrási geofizika és szeizmika integrálása

Vertikális felbontás, pontos mélységadatok mélyfúrási geofizikával. A szeizmikus mélységadatok pontosítása.

Fúrások „összekötése” : két fúrás között az interpoláció eszköze a fúrásokon átmenő (vagy azokat megközelítő) szeizmikus szelvény elsősorban, de más felszíni geofizika is beépíthető (pl. grav. és EM módszer).