– Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei –

AZ AVO ANALÍZIS ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEINEK VIZSGÁLATA

(A forrás-geofon távolságtól függő reflexiós amplitúdók elemzése)

Írta:

Takács Ernő

Miskolc

2001

I. Tudományos előzmények, célkitűzések

A hagyományos szeizmikus reflexiós összegszelvényekkel jól térképezhetők az antiklinális szerkezetek, a vetőkhöz kapcsolódó csapdák és a sztratigráfiai kiékelődések. Ilyenkor a fúrási kockázat abban rejlik, hogy a kimutatott szerkezetben esetleg nincs szénhidrogén. A geofizikusok azonban felfedezték, hogy a porózus kőzetekben a gáz jelenléte gyakran eredményez nagy energiájú reflexiókat. Ezen "bright spotok" szénhidrogénipari kutatásának eredményességét viszont korlátozza, hogy a nagy energiájú reflexióknak a gáztartalmon kívül más okai is lehetnek. Ilyenek például az agyagos-homokos üledékekben előforduló karbonátos és magmatikus kőzetek, más kemény kőzetpadok, a széntelepek, vagy akár a vizes homokkövek is. Nem szabad figyelmen kívül hagyni a hullámterjedéssel kapcsolatos fizikai jelenségeket sem (pl. vékonyréteg hatás, konstruktív interferencia).

A felszíni reflexiós adatokból a litológiai és rétegtartalommal kapcsolatos információk hatékonyabb meghatározására az 1970-es évek közepén nyílt mód a szeizmikus adatgyűjtési és feldolgozási eljárások tökéletesedésével. A szénhidrogén-kutatásban alkalmazott új módszereknek a *szeizmikus litológia* összefoglaló elnevezést adták. Ez magában foglalja a nagy energiájú reflexiók kutatására kidolgozott szeizmikus összegzés utáni és előtti eljárásokat. Ilyenek például a Hilbert attribútumok és a pszeudo-akusztikus impedancia szelvények vizsgálata, valamint az AVO (Amplitude Versus Offset) analízis végrehajtása és a nyíróhullámok elemzése. Ezeknek a szénhidrogén-kutatási eljárásoknak a használata jelentős találati sikereket hozott a Mexikói-öbölben és más fiatal üledékes medencékben is.

A doktori értekezésemben tárgyalt AVO analízis alkalmazása a *szénhidrogén-kutató* reflexiós mérések adatainak értelmezésében mintegy másfél évtizede indult rohamos fejlődésnek (Ostrander 1984). A reflektált P-hullám AVO válasza – azaz a P-hullám amplitúdójának változása a forrás-geofon távolság függvényében – a rétegek P- és S-hullám terjedési sebességétől, a sűrűségétől és a beesési szögtől függ. Ennek alapján a közös mélységpontos reflexiós adatokból előállított AVO válaszok segítségével következtetést vonhatunk le a kőzetek P- és S-hullám terjedési sebesség és sűrűség paramétereire. Esettanulmányok sora bizonyítja, hogy az AVO analízis alkalmazásával mód nyílik a porózus rétegek esetleges gáztartalmának előrejelzésére, és felhasználásával jelentősen csökkenthető a meddő fúrások száma (pl. Allen és Peddy 1993).

Az AVO analízis alkalmazásának elsődleges területe – gazdasági jelentősége miatt – ma is a szénhidrogén-kutató reflexiós mérések adatainak litológiai és rétegtartalommal kapcsolatos értelmezése, melyhez ma már fejlett programrendszerek állnak rendelkezésre.

Az AVO analízis más területű felhasználása viszont csak kezdeti stádiumú és esetleges. Emiatt doktori értekezésemben nagy hangsúlyt kapott annak bizonyítása, hogy *az AVO inverzió nemcsak a szénhidrogén-kutatásban használható a gáztartalmú porózus rétegek kimutatására, hanem alkalmas a földkéreg szélesebb kutatási tartományában is a rugalmassági paraméterek becslésére.* Az alacsonyabb jel/zaj viszony és a kisebb beesési szögek miatt a feladat megoldása nehezebb a kéreg mélyebb tartományából észlelt reflexiókra, mint az üledékes kőzetekre; továbbá a nagyobb mélységekben nem állnak rendelkezésünkre fúrólyuk-geofizikai adatok, amelyeket az AVO inverzióhoz szükséges kezdeti modell felvételéhez hagyományosan használnak. A megfelelően tervezett terepi észlelési rendszer, a körültekintő adatfeldolgozás és az előzetes szeizmikus sebesség vizsgálatok alapján felépített kezdeti modell azonban segíthetnek e problémák megoldásában.

Disszertációm elkészítésénél az alábbi célokat tűztem ki, melyek megvalósításakor a fúrással is elérhető kutatási tartomány AVO vizsgálata után a nagyobb mélységek felé haladtam:

- Az AVO analízis szénhidrogén-kutatásban használt módszereinek bemutatása a nemzetközi szakirodalom, valamint a hazai vizsgálatok és tapasztalatok alapján;
- Elvi és módszertani kutatások elvégzése az AVO inverzió széleskörű – szénhidrogén-kutatáson túlmenő – földtani alkalmazási lehetőségeinek kidolgozására;
- Az optimálisnak ítélt feldolgozási metodikákkal az AVO inverzió általam javasolt alkalmazási területeire esettanulmányok készítése és a kapott eredmények értékelése.

A *szeizmikus litológia* témakörében eddig is jelentős hazai eredmények születtek. A pszeudo-akusztikus impedancia szelvények, valamint a Hilbert attribútumok alapvető feldolgozási és értelmezési kérdéseinek legelső itthoni tisztázása Szulyovszky (1987) nevéhez fűződik, majd Albu és Pápa (1992) mutattak példát a magyarországi szénhidrogénipari alkalmazásra. Az *AVO analízissel* kapcsolatos első hazai vizsgálatokat Meskó et al. (1992), Késmárky és Szántó (1992), illetve Takács (1992, 1996) végezték el. Az analízis helyére a szeizmikus módszer szénhidrogén-kutatási eszköztárában később Rumpler és Késmárky (1998) utaltak.

Az AVO analízis vizsgálata a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet kutatási tervében 1990 óta szerepel. A feladatok megoldásában kezdetben saját fejlesztésű programokat használtam. Később az értekezésemben alkalmazott Hampson-Russell (1998) AVO/UNIX programcsomag megismerésére, valamint a Mohorovičić diszkontinuitás környezetében való alkalmazására (Takács és Hajnal 1999) egy három hónapos kanadai

tanulmányút (University of Saskatchewan, Department of Geological Sciences) adott lehetőséget.

II. Az elvégzett vizsgálatok

Doktori értekezésemben bemutattam az AVO analízis és inverzió általam javasolt újszerű alkalmazási lehetőségeit, részletesen tárgyaltam az elért módszertani és földtani eredményeimet. Ezek alapján megállapítottam, hogy *az eljárás a földkéreg széles mélységtartományában használható a kőzetek rugalmassági paramétereinek becslésére – ezeken keresztül az üledékes rétegek pórustartalommal kapcsolatos és litológiai változásainak kimutatására, illetve a mélykéreg reológiai tulajdonságainak megismerésére.* Disszertációm első részében külföldi publikációk – és saját tapasztalataim – alapján összefoglaltam az analízis hullámterjedési és kőzetfizikai alapjait, a szénhidrogén-kutatásban alkalmazott gyakorlati megvalósítás módszerét. Tárgyaltam az AVO feldolgozás és értelmezés követelményeit, valamint a megbízható értelmezést elősegítő modellezés, attribútum számítás és inverzió lehetőségeit. A második részben saját kutatásaim eredményeként példákat mutattam az AVO analízis és az inverzió alkalmazására a földkéreg különböző mélységtartományaiban.

Először a szeizmikus reflexiós szelvényeken gyakran észlelhető, *neogén üledékeken belüli nagy energiájú reflexiók* (bright spotok) lehetséges földtani okait vizsgáltam. Modellszámítások segítségével elemeztem a szemcseközi porozitású homokkövek felszínéről várható elméleti AVO válaszokat különböző rétegtartalom esetén. Ezután horizontális sebesség vizsgálatok, Hilbert attribútumok és AVO analízis (nulla észlelési távolságú reflexiós együttható és Poisson-hányados becslés) együttes alkalmazásával elvégeztem egy a MOL Magyar Olaj- és Gázipari Rt. reflexiós szeizmikus szelvényén, a neogén üledékben észlelt nagy energiájú reflexió litológiai és *szénhidrogén-perspektivitási* vizsgálatát.

Később az AVO inverzió újszerű alkalmazásával meghatároztam a *medencekitöltő teljes üledéksor* P- és S-hullám terjedési sebességeit, sűrűségeit és Poisson-hányadosait a Pannon-medence aljzatának két részmedencéje és egy gerincvonulata felett. A vizsgálati helyek – a PGT-4 jelű mélyszeizmikus szelvény mentén – a Makói-árok, a Battonya–Pusztaföldvári-gerinc és a Békési-medence területére esnek. A kapott S-hullám terjedési sebesség értékeket ellenőrzés céljából összehasonlítottam a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézetben rendelkezésemre álló mélyfúrás-geofizikai adatokkal, valamint a korábban végzett Rayleigh-hullám diszperzió analízisek eredményeivel. Felhívtam a figyelmet az AVO inverzió *medence-analízis és földrengés-veszélyeztetettség kutatás* célú alkalmazásának lehetőségeire.

Végül elvégeztem a *Mohorovičić diszkontinuitás* környezetének AVO inverzióval történő vizsgálatát. Először modellszámítások segítségével elemeztem a Moho-ról várható elméleti AVO válaszokat. Ezután kialakítottam a szeizmikus adatfeldolgozás optimális menetét, különös tekintettel a jel/zaj viszony növelő műveletekre és ezek AVO válaszra gyakorolt hatására. *Kidolgoztam egy eljárást, melynek segítségével mélyfúrás-geofizikai adatok nélkül, szintetikus és terepi csatornák illesztésével megfelelő kezdeti modellt lehet felépíteni az inverzió végrehajtásához*. A PGT-4 mélyszeizmikus adatok felhasználásával – a Makói-árok alatt – elvégeztem az AVO inverziót, és elemeztem a vizsgálati zónában eredményül kapott P- és S-hullám terjedési sebesség, sűrűség, Poisson-hányados és nyírási tényező értékeket. Mindezen vizsgálatok hozzájárulnak a *mélykéreg reológiájának* teljesebb megismeréséhez.

III. Új tudományos eredmények

1. Bizonyítottam, hogy a szeizmikus reflexiós adatok *szénhidrogén-kutatás célú értelmezésében az AVO analízis a horizontális sebesség vizsgálatok és a Hilbert attribútumok eredményeihez illesztve – az eredményeket együttesen használva – válik az értelmezés igazán hatékony eszközévé.* Ezáltal lehetőség nyílik a nagy energiájú reflexiókat (bright spotokat) okozó földtani képződmények litológiai és szénhidrogén-perspektivitási minősítésére.

a) Modellszámításaim eredményeként megállapítottam, hogy a Pannon-medence általam vizsgált részterületén lehetőség van a neogén üledéksorban előforduló gáztartalmú homokkövek kimutatására az AVO válaszaik alapján. Ugyanekkor példát mutattam arra, hogy nem minden gáztartalmú homokkő réteg okoz AVO anomáliát.

b) Terepi adatokon végzett vizsgálatokkal bemutattam, hogy a neogén üledékeken belüli nagy energiájú reflexiók elemzéséhez több szénhidrogéngáz-indikátort kell vizsgálni. Fel kell használni a rendelkezésre álló mélyfúrás-geofizikai adatokat is, és a célreflexióra kapott eredményeket össze kell hasonlítani fúrásból ismert – akár meddő – referencia szintekkel.

c) A dolgozatomban vizsgált nagy energiájú reflexió elemzésekor arra az eredményre jutottam, hogy azt feltehetően egy tömörödött, kis porozitású gázos homokkő réteg okozza. Az AVO attribútumokkal kapcsolatban megállapítottam, hogy a ritkán használt "átmeneti szög" szelvény hatékony eszköze lehet a nagy energiájú reflexiók kutatásának.

2. Bemutattam, hogy az AVO inverzió a szénhidrogén-kutatással kapcsolatos rétegtartalom vizsgálatokon kívül más földtani célkitűzések megvalósítására is alkalmazható. *Újszerűen felhasználható a medencekitöltő teljes üledéksor P- és S-hullám terjedési sebességeinek, és sűrűségeinek meghatározására.* Ezekből több kőzetfizikai paraméter vezethető le, amelyek mélységszerinti és térbeli eloszlásának ismerete felhasználható a *medence-analízis*ben, és lehetővé teszi a *földrengéshullámok* "nagyítási tényezőjének" kiszámítását is.

a) A fenti lehetőségek bemutatására a PGT-4 jelű mélyszeizmikus szelvény felső 6 sec-ig feldolgozott változatán, annak három eltérő szerkezeti helyzetű szakaszán – Makói-árok, Battonya–Pusztaföldvári-gerinc és Békési-medence – a teljes pre-tercier korú üledékes összletre végrehajtottam az AVO inverziót. Az így nyert S-hullám terjedési sebességek ellenőrzésére összehasonlítást végeztem az ELGI-ben rendelkezésre álló mélyfúrás-geofizikai adatokkal, illetve a szelvény mentén korábban végrehajtott Rayleigh-hullám diszperzió analízis eredményeivel. Az egyeztethető helyeken és mélységtartományokban a különböző vizsgálati módszerekkel kapott S-hullám terjedési sebességek eltérése nem haladja meg a 200 m/s-ot.

3. Modellszámításaimmal és terepi adatokon végrehajtott vizsgálataimmal bizonyítottam, hogy *az AVO inverzió alkalmazható a földkéreg mélyebb tartományában is – a Mohorovičić diszkontinuitás mélységében – a rugalmassági paraméterek, általuk pedig a reológiai tulajdonságok megismerésére.* Mindezekhez azonban megfelelően tervezett terepi észlelési rendszer, körültekintően feldolgozott szeizmikus adatok és elegendően pontos kezdeti P-hullám sebesség modellek szükségesek.

a) A mért terepi csatornák adatain csak olyan feldolgozási műveletek hajthatók végre, amelyek nem torzítják lényegesen az AVO választ. A feldolgozási műveleteket vizsgálva megállapítottam, hogy a – Radon transzformáción alapuló – "Inverse Velocity Stacking" elnevezésű művelet rendkívül hatékony eljárás a véletlen zajok elnyomására és ugyanakkor nem torzítja jelentősen a terepi adatokból meghatározott AVO válaszok lefutását.

b) A hagyományos AVO analízisnél az inverzióhoz szükséges kezdeti modell mélyfúrás-geofizikai adatok ismeretében építhető fel. Hiányukban – a mélykéreg tartományában – a kezdeti P-hullám intervallum sebesség és sűrűség értékeket előzetes szeizmikus sebesség vizsgálatokon alapuló szintetikus csatornák terepi adatokhoz való illesztésével határoztam meg. Vizsgálataim szerint az így nyert P-hullám sebességekből az AVO inverzióhoz szükséges kezdeti S-hullám sebesség értékeket elegendő egy közelítő, konstans értékű Poisson-hányadossal számítani.

c) Az AVO inverzió eredményeként, a PGT-4 jelű mélyszeizmikus szelvény adatainak felhasználásával a Makói-árok alatti mélykéreg részre becsült rugalmassági paraméterek – P- és S-hullám terjedési sebesség, sűrűség, Poisson-hányados, nyírási tényező – alapján a Mohorovičić diszkontinuitás közvetlen közelében (kb. 23 km mélységnél) egy *kis nyírási tényezőjű zónát mutattam ki*. A vizsgálati tartományban eredményül kapott tízréteges modell szerint itt a nyírási tényező a környezetéhez képest kb. 20 %-kal kisebb értékű.

Az eredmények hasznosítása

Doktori értekezésemben konkrét esettanulmányokkal bizonyítottam, hogy az AVO analízis és inverzió általam alkalmazott metodikája jelentősen hozzájárul a felszíni szeizmikus reflexiós mérések adatainak értelmezéséhez, alkalmazásuknak szinte minden olyan területén, ahol a kőzetek rugalmassági paramétereinek ismerete szükséges.

Az AVO analízis a *szénhidrogén-kutatásban* – a szokásos kombinált mélyfúrás-geofizikai és szeizmikus értelmezésbe integrálva – meghatározó szerepűvé válhat a Pannon-medence porózus rétegeinek szénhidrogén-perspektivitási minősítésében. Emellett az AVO inverzió újszerű használatával a *medencéket kitöltő teljes rétegsorra* meghatározott S-hullám terjedési sebességek ismerete már önmagában is teljesebb értékűvé teszi a reflexiós szelvényeket földtani vonatkozásban is. Alkalmazása olyan kőzetfizikai paraméterek levezetésére ad módot – P- és S-hullám terjedési sebesség, sűrűség, Poisson-hányados, nyírási tényező – amelyek akár a felszíni reflexiós mérések értelmezési területének bővülését is jelenthetik, például a *medence-analízisben*, vagy a *földrengéshullámok* terjedési viszonyainak és károsító hatásainak megítélésében. Vizsgálataim szerint az AVO analízist a *mélylitoszféra kutatásában* is érdemes elvégezni a rugalmassági és reológiai sajátságok mélybeli alakulásának meghatározására. Ezek ismerete új lehetőséget adhat azoknak a mélytektonikus folyamatoknak a megismeréséhez, amelyek hatással vannak a medence és a hegységképződés folyamataira, valamint az ásványi nyersanyagok feldúsulására.

IV. Az értekezés témaköréből készült publikációk jegyzéke

Takács E. 1992: Az észlelési távolságtól függő amplitúdóváltozás vizsgálata. *A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1990. évi jelentése*, 76-80

Posgay K., Bodoky T., Hegedűs E., Kovácsvölgyi S., Lenkey L., Szafián P., Takács E., Tímár Z. and Varga G. 1995: Asthenospheric structure beneath a Neogene basin in south-east Hungary. *Tectonophysics* **252**, 467–484

Posgay K., Takács E., Szalay I., Bodoky T., Hegedűs E., Jánváriné K.I., Tímár Z., Varga G., Bérczi I., Szalay Á., Nagy Z., Pápa A., Hajnal Z., Reilkoff B., Mueller St., Ansorge J., DeIaco R. and Asudeh I. 1996: International deep reflection survey along the Hungarian Geotraverse. *Geophysical Transactions* **40**. No. 1-2., 1-44

Hajnal Z., Reilkoff B., Posgay K., Hegedűs E., Takács E., Asudeh I., Mueller St., Ansorge J. and DeIaco R. 1996: Crustal-scale extension in the central Pannonian basin. *Tectonophysics* **264**, 191–204

Takács E. 1996: Az észlelési távolságtól függő amplitúdók analízise (AVO) és a hazai alkalmazás lehetőségei. *Magyar Geofizika* **37**, 3, 154-169

Takács E., Kummer I., Sípos J. and Pápa A. 1999: Bright spot analysis within the Pannonian Basin using horizon velocity estimation and Hilbert and AVO attributes. *First Break* **17.3**, 79-85

Takács E. and Hajnal Z. 2000: Amplitude Versus Offset case study on the Moho. *Geophysical Transactions* **43**. No 2., 93-111

Nemzetközi konferencia előadások

Pápa A., Takács E., Tímár Z. 1992: Determination of the extension of hydrocarbon deposits and estimating their reservoir capacity using seismic and well data. 9th Petroleum Congress and Exhibition of Turkey, Ankara

Kummer I., Pápa A., Takács E., Tímár Z. 1992: Detection of shallow gas accumulations and uncontrolled gas flows by means of velocity and AVO analyses. 54th Meeting of EAEG, Paris

Takács E., Posgay K., Hegedűs E., Sípos J. 1993: Upper crustal Bright Spots: Possible deep reservoirs? EUG VII Biennial Meeting, Strasbourg

Kummer I., Takács E., Pápa A. 1995: Seismic characterization of gas-saturated layers for various depths in the Pannonian basin. 57th Meeting of EAEG, Glasgow

Takács E. 1996: Analysis of a Flat Spot in Mesozoic carbonate using trace and AVO modelling. 58th Meeting of EAGE, Amsterdam

Takács E., Posgay K., Hegedűs E. Hajnal, Z. 1996: A study on deep reflection data with the aim of detecting hydrocarbon inside the pre-Tertiary basement. 7th International Symposium on Deep Seismic Profiling of the Continents, Asilomar, USA

Takács E., Kummer I., Sípos J., Pápa A. 1997: Bright Spot analysis using AVO and Hilbert attributes as well as horizontal velocity estimation. 59th Meeting of EAGE, Geneva

Takács E., Hajnal Z. 1999: An Amplitude Versus Offset case study on the Moho. 61st Meeting of EAGE, Helsinki

Hazai konferencia előadások

Pápa A., Takács E., Tímár Z., Tóth J. 1991: Szénhidrogéntároló lehatárolása és a tárolókapacitás elsődleges becslése. MGE 20. Vándorgyűlése, Szeged

Sípos J., Takács E. 1992: Mélyszeizmikus amplitúdóanomáliák vizsgálata reflexiós koefficiens becslés és AVO analízis alkalmazásával. MGE 21. Vándorgyűlése, Budapest

Takács E., Szalay Á., Posgay K., Hegedűs E. Tímár Z. 1993: A DK-magyarországi mélyszeizmikus mérések legújabb eredményei. Magyar Geofizikusok Egyesülete, Budapest

Takács E., Posgay K., Hegedűs E., Varga G., Kovácsvölgyi S. 1995: A DK-Magyarországi litoszférakutatás legújabb eredményei. MGE 24. Vándorgyűlése, Kőszeg

Kummer I., Takács E., Pápa A. 1995: Gáztartalmú rétegek szeizmikus jellemzése a Pannon medence különböző mélységtartományaiban. MGE 24. Vándorgyűlése, Kőszeg

Takács E., Kummer I., Sípos J., Pápa A. 1997: Gáztartalmú rétegek kimutatásának lehetőségei AVO és Hilbert attribútumok, valamint horizontális sebesség vizsgálatok alkalmazásával: MGE 26. Vándorgyűlése, Sopron

Takács E., Hajnal Z. 1999: Rugalmas paraméterek becslése a Moho mélységtartományában. MGE 28. Vándorgyűlése, Zalakaros