

AVO modellezés egy magyar gáztároló esetén szeizmikus monitorozás céljából

TÓTH IZABELLA *

Bevezetés

Time-lapse seismic monitoring (4D seismic) can characterize the temporary changes in pore pressure and fluid saturation due to hydrocarbon production. Before any acquisition of 4D seismic data above a given reservoir, we have to know, that our reservoir is suitable or not for the application of time lapse seismic monitoring.

An upper pannonian gas bearing sandstone reservoir was chosen to analyze the effect of production on seismic signal. I modeled the temporary movement of the fluid phase boundary using well log data. Synthetic well log curve sets were generated at every time step using fluid replacement modeling. 1D pre-stack seismic responses of the modeled time steps were calculated, and compared to each other.

The 3D modeling can represent a more complete result about the effect of the production and gas-water contact rising. 3D velocity and density models were generated by the extrapolation of the well logs based on the horizons and gas-water contact surfaces. The pre-stack synthetic seismograms were calculated similarly 1D case.

The efficiency of the 4D seismic can be predicted from the 1D and 3D synthetic seismic models.

1. Elméleti háttér

1.1. AVO elméleti háttér. Amplitude Versus Offset analízis a reflektált szeizmikus P-hullám amplitúdók változásait vizsgálja a forrás és geofon távolság (offset) függvényében. Az AVO módszer alkalmazása a szénhidrogén-kutatásban azon alapul, hogy a P- és S-hullámok porózus kőzetekben eltérően viselkednek. Míg a longitudinális hullám sebessége kis gáztartalomra is hirtelen leesik, a transzverzális hullám nem érzékeli a pórusteret, ezért a V_p , V_s arány lecsökken [1].

Rugalmas hullámok terjedése szempontjából a szeizmikus határfelületeket az akusztikus impedancia változások határozzák meg, amit a közeg sűrűségének és P-hullám sebességének szorzata ad meg. Ha a forrás által gerjesztett P-hullám nem merőlegesen, hanem valamilyen szöggel eltérően érkezik a határfelületre reflektált és transzmittált P- és S-hullámok gerjesztődnek, amelyek amplitúdóit a Zoeppritz-egyenlet írja le. A mátrix egyenlet matematikailag bonyolult, nagy számítás igényes, ezért számos közelítése ismert, pl. Bortfeld, Aki-Richards, Shuey, Smith és Gidlow.

Az Aki-Richards egyenlet további egyszerűsítését SHUEY [2] vezette le (1). Ez a közelítés az amplitúdók viselkedését vizsgálva a beesési szögek szerint bontja fel három tagra az egyenletet: normális beesés (R_0), beesési szögek 0 és 30° között és a távoli szögek tartománya, ahol a kritikus szög megjelenik.

* Tóth Izabella

Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, 1145 Budapest, Kolumbusz u. 17-23., izabellatoh88@gmail.com

$$R_{P_R}(\theta) \approx R_0 + \left[A_0 R_0 + \frac{\Delta\sigma}{(1-\sigma)^2} \right] \sin^2 \theta + \frac{1}{2} \frac{\Delta V_p}{V_p} (\tan^2 \theta - \sin^2 \theta) \quad (1)$$

A modellezés során a harmadik tag elhanyagolásával lineáris közelítést tudunk leírni a reflexiós koefficiens változására a beesési szög szinusz négyzetének függvényében:

$$R_{P_R}(\theta) \approx P + G \sin^2 \theta \quad (2)$$

ahol P (Intercept) zéró-offsetes beérkezéshez tartozó P-hullám amplitúdó (R_0), míg G (Gradiens) az amplitúdók változásának meredekségét adja meg.

1.2. FRM (Fluid Replacement Modeling) elméleti háttér. A porózus kőzetek teljes térfogata kőzetvázból, pórustérből és a pórusokat kitöltő fluidumból áll. Ezek a fluidumok nagy befolyással vannak az inkompresszibilitási modulusra. Már kis gáztartalom megjelenésére a P-hullám sebesség markánsan lecsökken, ami az inkompresszibilitási modulus hirtelen változásának köszönhető.

BIOT [3] és GASSMANN [4] relációja segítségével meg tudjuk becsülni egy szaturált kőzet inkompresszibilitási modulusát akkor is, ha az in situ fázis rétegtartalmát más folyadékokra cserélem le:

$$\frac{K_{sat1}}{K_0 - K_{sat1}} + \frac{K_{f1}}{\Phi(K_0 - K_{f1})} = \frac{K_{sat2}}{K_0 - K_{sat2}} + \frac{K_{f2}}{\Phi(K_0 - K_{f2})} \quad (3)$$

Ehhez ismernünk kell a kőzet porozitását (Φ), a mátrix ásványi összetételéből meghatározott K_0 értéket, az eredeti fluidum (K_{f1}) és azzal kitöltött kőzet (K_{sat1}) és az új fluidum (K_{f2}) inkompresszibilitási modulusát.

A Gassmann egyenlet homogén ásványi összetételt és izotróp pórustér elhelyezkedést feltételez, míg a pórus geometriára szabad feltételezést ad. Az egyenlet csak kellően alacsony frekvenciás (<100 Hz) adatokra használható.

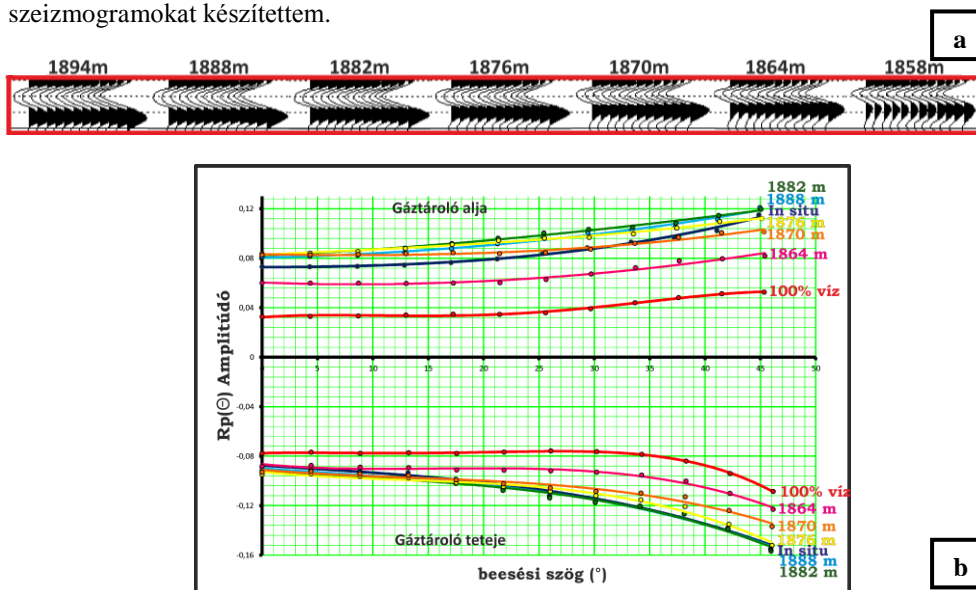
2. Modellezés

2.1. 1 dimenziós modellezés. A 4D szimuláció elvégzéséhez egy 3D-s szeizmikus adatrendszert, és egy hozzá tartozó fűrési adatbázist kaptam meg. A kút termelése hat éve tart, amely során a rétegnyomás esését folyamatosan mérték. A kútgörbék és a szeizmikus adatok előzetes értelmezése alapján a legmélyebben fekvő, 1858-1894 m-ig található, nagy kiterjedésű gáztárolót választottam ki modellezésre.

A kezdeti, termelés előtti fázis 1D-s pre-stack szintetikus szeizmikus csatorna reflexiós P-hullám amplitúdói a P-, S-hullám sebesség és sűrűség görbékből lettek számítva a Zoeppritz egyenlet Aki-Richards féle közelítésének segítségével. A szintetikus szeizmogramon megfigyelhető a P-hullám amplitúdók növekedése az offset függvényében, mind a gáztároló tetején és talpán. A rezervoár kőzet teteje nagy negatív tengelymetszettel és gradienssel rendelkezik, vagyis az amplitúdók csökkennek (abszolútértékei nőnek) a nagyobb szögek felé haladva. Az elhangzott tulajdonságok alapján és az AVO osztályozás

segítségével megállapítható, hogy a vizsgált rezervoár kőzet a III-as típusú AVO homok osztályba sorolható [5].

Mivel a potenciális tároló kőzet rendelkezik AVO hatással, ezért szeizmikus monitorozás céljából a termelés következtében fellépő változások hatásait vizsgáltam 1 dimenziós esetben. A modellezés alapja a gáz-víz határ emelkedése és a pórusnyomás csökkenése volt. A kijelölt aktuális gáz-víz határok alapján a hét kitermelési fázisra fluidumcsere modellezéssel (FRM) szintetikus P-, S-hullám sebesség és sűrűség görbéket állítottam elő, amelyekből a fent említett módszer alapján pre-stack szintetikus szeizmogramokat készítettem.



1.ábra: 1 dimenziós pre-stack szintetikus szeizmogramok (a). Gradiens analízis: az amplitúdók változása a beesési szög függvényében a termelés következtében (b).

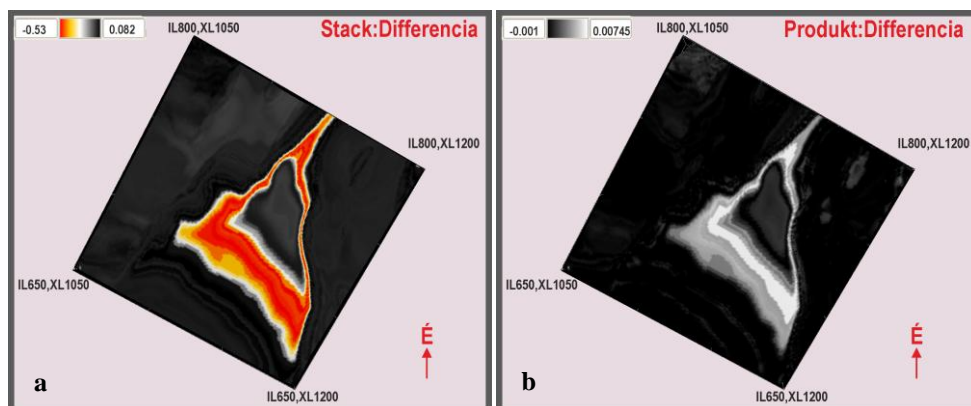
Az 1/b ábra alapján elmondható, hogy a gáztároló tetején folyamatos gradiens és figyelhető meg. A 100%-ban vízzel telített esetben már egyértelműen látszik az amplitúdók abszolút értékeinek markáns lecsökkenése és az AVO hatás megszűnése.

2.1. 3 dimenziós modellezés. Az 1 dimenziós modellezés során a bemutatott AVO attribútumokon egyértelműen jelentkeztek a termelés hatására bekövetkező változások. A tároló alkalmas a szeizmikus monitorozásra, így érdemes 3 dimenziós modellezés segítségével a közetfizikai paraméterek térbeli változásait és a rezervoárban termelés hatására történő fluidum mozgást is vizsgálni.

A 3D-s modell geostatistikus technikák segítségével készült. A program a fúrásból extrapolálja a P-, S-hullám sebesség és sűrűség értékeket az egész adatrendszerre a horizontok térbeli elhelyezkedésének figyelembe vételével.

A horizont felületén vizsgálva a tárolót az összecszelvény amplitúdókon és a produkt attribútumon (Intercept és Gradiens szorzata) is szépen látszanak a gáztermelés következtében történő változások, a gázt tartalmazó rész zsugorodása. A gáztároló

kiterjedésének változását a kezdeti és az utolsó fázis különbségének ábrázolásával tudom szemléletesebbé tenni (2. ábra).



2.ábra: A termelés hatásának vizsgálata a horizont mentén, (a) ábrán az összecszelvény amplitúdók változása, (b) ábrán a produkt attribútum változása figyelhető meg.

3. Konklúzió

Az 1D-s offset függő szintetikus szeizmikus csatornák mutatnak AVO hatás változást, ami a termelés következtében fellépő gáz-víz határ emelkedés és pórus nyomás csökkenés következtében alakult ki. A 3D-s modellezéssel, a tároló térbeli elhelyezkedését vizsgálva még teljesebb képet kaphatunk a termelés hatásáról és a gáz-víz határ emelkedéséről.

Az AVO modellezés segítségével bebizonyítottam, hogy a tároló alkalmas szeizmikus monitorozásra. A modell alapján javasolható a területen egy új 3D-s szeizmikus mérés, a csapdázódott gázpotenciálok és a modell alapján jósolható gáztartalom felkutatására.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom témavezetőmnek, Zahuczki Péternek és Kocsis Gábornak a munkám során nyújtott sok segítségért és útmutató tanácsokért.

Irodalomjegyzék

- [1] TAKÁCS, E., (2001). Az AVO analízis alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata
- [2] SHUEY, R. T., (1985). A simplification of the Zoeppritz equations. *Geophysics*, vol. 50, no.4 (april 1985); p 609 -614. 8 figs., 2 tables
- [3] BIOT, M. A., (1956). Theory of propagation of elastic waves in a fluid saturated porous solid. I. Low frequency range and 11. Higher-frequency range. *J. Acoust. Soc. Am.*, 28, 168-191.
- [4] GASSMANN, F., (1951). Über die Elastizität poröser Medien. *Eel: der Natul: Gesellschaft in Zurich*, 96, 1-23.
- [5] RUTHERFORD, S. R., WILLIAMS, R. H., (1989). Amplitude-versus-offset variations in gas sands: *Geophysics*, 54, 680–688.