

A geofizika és a mélyfúrési technológia szerepe a formációvédelemben

SZÜCS PÉTER¹ (témavezető), ROBONYI ANDRÁS²

P. SZÜCS, A. ROBONYI: The role of geophysics and drilling technology in the prevention of formation damage

OTKA nyilvántartási szám: F 16804

Bevezetés

A hazai kőolaj- és földgázbányászat készleteinek folyamatos csökkenése mellett egyre inkább felértékelődnek azok az emberi tudáson és szakértelmen alapuló módszerek és technológiák, melyek lehetővé teszik, hogy szénhidrogén-tárolóinkat minél nagyobb kizozatali hatásokkal művelhessük le. Ennek a stratégiának a részeként egyre inkább előtérbe kerül a formációvédelem témaköre is. A formációvédelem fő célja az, hogy a különböző műveletek és beavatkozások során a gáz- vagy olajtároló minél kisebb mértékben károsodjék. Hogy ez az elv maradéktalanul megvalósulhasson, természetesen pontosan kellene ismerni a különböző formációkárosodási folyamatokat. Ebben lehet nagy jelentősége a formációkárosodás matematikai modellezésének, hiszen eddig főként csak kvalitatív leírások születtek annak ellenére, hogy a formációkárosodás jelenségének az ismerete szinte egyidős a kőolaj- és földgázbányászattal.

Magyarországon eddig a formációkárosodás komplex modellezésével nem foglalkoztak, ugyanakkor a nemzetközi szakirodalomban található matematikai modellek száma is igen csekélynek tekinthető. A szerzők az OTKA téma keretében kifejlesztettek egy globális inverzió alapuló formációkárosodási modellt, mely az elsődleges rétegmegnyitási tevékenységhez kapcsolódik. Emellett javaslatokat és eljárásokat adnak arra vonatkozólag, hogy a különböző mélyfúrési geofizikai módszerek és a mélyfúrési technológia hogyan segíthetik a károsodási folyamatok pontosabb megismerését és az eredményesebb formációvédelmet. A szelvényezési eljárások ilyen célú felhasználása a mélyfúrési geofizika hazai alkalmazásának új fejezetét nyithatja meg.

1. Formációkárosodás

A különböző formációkárosodási folyamatok, melyek termelékenység-, illetve permeabilitáscsökkenéssel járnak együtt, végigkísérik egy szénhidrogén-tároló „teljes életét”. Károsodás léphet fel az elsődleges rétegmegnyitás (fúrás), a bélés-csövezés, a cementezés, a másodlagos rétegmegnyitás (perforálás), a termelés, és minden egyéb, a mezőt érintő beavatkozás során. Ha a mechanikai deformációktól eltekintünk, a legfontosabb permeabilitáscsökkentő hatások a kőzet-folyadék kölcsönhatásokhoz köthetők az alábbi három kategória szerint:

1. finomrészecskékhez kapcsolódó károsodás,

2. agyagok duzzadása,
3. geokémiai átalakulások.

A sokféle károsító beavatkozás közül az elsődleges rétegmegnyitás, azaz a mélyfúrési tevékenység hat leginkább egy tárolóra. Ezért a vizsgálatainkban elsősorban az itt lejátszódó folyamatokkal és azok modellezésével foglalkoztunk.

2. A formációkárosodás matematikai modellezése

Egy matematikai modell megalkotásánál fontos pontosan definiálni azokat a főbb jelenségeket, melyek egy rendszerben lejátszódó folyamatokért a leginkább felelősek. A formációkárosodás folyamatának megértéséhez szükséges tudnunk azt, hogy mi játszódik le a pórustérben. Ehhez alkottunk egy pórustérmodellt, mely lehetővé tette a formációkárosodási folyamatok matematikai modellezését. A modellegyenletek megalkotásánál a következő modellfeltevésekkel dolgoztunk:

- a közeg izotróp;
- a réteggárosító folyamat izotermális;
- az egydimenziós, horizontális, egyfázisú áramlás Darcy jellegű;
- a gravitációs hatásoktól eltekintettünk;
- a permeabilitás csökkenése a finomrészecskék lerakódásával és eltömő mechanizmusával, valamint az agyagok duzzadásával magyarázható.

3. A modell paramétereinek a meghatározása

A modellegyenletekben szereplő hat modellparaméter meghatározására inverziós algoritmust állítottunk fel. A parciális differenciálegyenletek megoldására a véges differenciák módszerét alkalmaztuk. Az inverziós algoritmus magjaként a P -normát használtuk. A globális minimumhely megtalálását biztosító algoritmusok közül a mérnöki gyakorlatban széles körben elterjedt *Simulated Annealing* módszert építettük be. Az inverziós algoritmus teljes felépítését megkönnyítette, hogy támaszkodhattunk korábban kidolgozott munkáinkra. Például SZÜCS bemutatta a *Simulated Annealing* adaptálásának előnyeit a legkülönbözőbb statisztikai normákra, SZÜCS és CIVAN pedig mélyfúrési geofizikai eljárást dolgozott ki.

A matematikai modell tényleges kipróbálásához mérési adatokra volt szükségünk. A modell paramétereinek a meghatározásánál mi is laboratóriumban mért magadatokat használtunk fel, ahogy a többi, eddig közölt károsodási modellen is tették. Az elméleti vizsgálatok során a mások által is feldolgozott irodalmi alapadatrendszerek adaptálá-

¹ ME Hidrogeológiai–Mérnökgeológiai Tanszék, 3515 Miskolc, Egyetemváros

² MOL Rt. KFÜ Kecskeméti Távvezetési Üzem, Kecskemét

sának két fő előnye van. Egyrészt kezdetben mentesülünk a fáradtságos és nagy pontosságot igényelő laboratóriumi vizsgálatoktól. Másrészt pedig így a későbbiekben lehetőségünk lesz összehasonlító vizsgálatokra, melyek különböző modellekre terjedhetnek ki. Természetesen saját laboratóriumi mérési anyagon is bemutattuk a javasolt modell alkalmazhatóságát.

4. A mélyfúrás geofizika szerepe a formációvédelemben

Különböző formációkárosodási folyamatok kvantitatív kiértékelésére a nyitott kutakban végzett szelvényezési eljárások a jelenlegi technikai szinten nem alkalmasak. Formációvédelmi eljárásokban elsősorban kvalitatív szinten a termelési geofizikai szelvények használhatók. Ezek egyrészt képesek lehetnek a károsodott zónák kimutatására. Másrészt monitoring rendszerek építhetők fel belőlük, hosszabb ideig tartó, például termelés hatására bekövetkező károsítási folyamatok kimutatására. A mélyfúrás geofizikához kapcsolódik a perforálás témaköre is, melynek kulcsszerepe lehet a kialakult károsodások csökkentésében. Formációvédelmi monitoring rendszer kiépítésével kapcsolatban és perforálási adatok vizsgálatát illetően az alábbi eredményeket kaptuk.

5. Mélyfúrás geofizikai módszereken alapuló monitoringrendszer kidolgozása kompaktációs folyamatok által létrehozott károsodások kimutatására

Sokréteges olajtelepek művelésénél szinte mindig problémát jelent a rétegek közötti kommunikáció, illetve elsősorban a gázátfejtődések létrejötte. Ezek közül is a legtöbb problémát a gázátfejtődések okozzák, melyek többszintes mezők esetében jelentősen megnehezítik az alsóbb tárolórétegek művelését. Az átfejtődések oka az esetek döntő részében kútszerkezeti hibákhoz köthető. Ha a hiba a kútkiképzés során jön létre, akkor az korán detektálható és javítható. Súlyosabb a helyzet akkor, ha a kúthibák az alábbiakban ismertetendő, a telep művelése alatt létrejövő folyamatok hatására jönnek létre.

A szénhidrogén-termelő rétegekben a termelés hatására az évek folyamán jelentős rétegyomás-csökkenések jönnek létre. Ez a mélységi rétegek kompaktációjához vezet, melynek hatását néha geodéziai kimutatható felszíni süllyedések is igazolják. Az így kialakuló közetkompakció mind a rétegek, mind a kútszerkezet károsodásához vezethet. A kútszerkezet hibáinál elsősorban a cementpalást sérüléseire számíthatunk, így az évek folyamán egyre inkább nő a valószínűsége az olaj- és gázátfejtődéseknek.

Ezeket figyelembe véve megállapítható, hogy a rétegekben létrejövő kompakció, felszíni süllyedés és gázátfejtődés vizsgálatára időben ismétlődő mérési rendszer bevezetése szükséges. Javaslatot tettünk egy időben ismétlődő mérési program kialakítására, melyben geodéziai és mélyfúrás geofizikai módszerek szerepelnek. A kiépítendő monitoring rendszer fontos része kell, hogy legyen a kútfeknél elvégzett 2–3 évenkénti geodéziai magasságmérés a felszíni süllyedések kimutatására. A figyelőrendszer döntő részének azonban mélyfúrás geofizikai módszereken kell alapulnia. A javasolt szelvényezési program kialakítá-

sában a Geoinform Kft. Kútgeofizikai Üzemétől (Szolnok) kaptunk jelentős segítséget.

6. Megjegyzések a perforálás réteggárosító mechanizmusához

Jelentős mértékű lehet a formáció károsítása a másodlagos rétegmegnyitási, azaz perforálási munkák kivitelezése alatt. Másrészt viszont elmondható, hogy a megfelelő módon elvégzett perforálás képes kiküszöbölni a réteggárosítás okozta termelékenység-csökkenést.

Az Egyesült Államokban laboratóriumban végeztek perforálási kísérleteket különböző homokkőmagokon, kúttalpi viszonyok között, a károsodott zóna vizsgálata céljából. A perforálás után a magokat számítógépes tomográffal, higanyos poroziméterrel és mikroszkóppal vizsgálták, valamint permeabilitással mértek, illetve számítottak. Ezeket a vizsgálati eredményeiből, illetve az ezekből származtatott hisztogramokból újszerű következtetéseket vontunk le a korszerű, robusztus geostatistikai módszereket felhasználva. Elvégzett vizsgálataink eredményei alapján az alábbi megjegyzéseket tehetjük.

Laboratóriumban, homokkőmagokon, lyuktalpi viszonyok között végzett perforálási kísérletek eredményeiből bizonyítható, hogy a perforálás során keletkezett károsodott zónában a közet sűrűsége és porozitása gyakorlatilag nem változik az érintetlen rétegekéhez képest, tehát a károsodott zóna nem olyan mértékben kompaktálódik, ahogy azt eddig feltételezték.

A számítógépes tomográf által szolgáltatott adatokból az is megállapítható, hogy ebben a zónában a nagyobb pórusok tönkremennek, összeesnek. Az ebből adódó pórustérfogat-vesztéssel pótolják azonban a jet töltetek behatolása mentén létrejövő mikrorepedések. Ez az átlagos pórusméret-csökkenés okozza a permeabilitás lecsökkenését a károsodott zónában, amit tovább ronthat a perforációs csatornába kerülő törmelék, és a szilárd részecskék mozgása.

A következtetésekből az is megállapítható, hogy ez a jelenség okozza a szénhidrogén-termelő kutak termelőképességének, illetve a besajtoló kutak elnyelőképességének esetleges romlását is, mivel a nagyobb pórusokat a nagyobb kapilláris erővel rendelkező, rosszabb vezetőképességű, keskenyebb áramlási csatornákat (azaz a repedéseket) és kisebb átmérőjű pórusokat váltják fel.

7. Összefoglalás

Az optimális fúrás technológia és formációvédelmi stratégia kialakításához nélkülözhetetlenek azok az információk, melyek egy adott rétegben várható formációkárosodási folyamatokkal kapcsolatosak. E téma keretében egy olyan globális inverziót és modern geostatistikai módszereket alkalmazó matematikai modellt alkottunk, mely elősegítheti a formációkárosodás jelenségének jobb megértését. A modell gyakorlati alkalmazhatóságát szakirodalmi és laboratóriumi magadatokkal történt összehasonlítás bizonyította.

Emellett bemutattuk, hogy a különböző mélyfúrás geofizikai módszerek és perforálási eljárások által szolgáltatott adatok hogyan segíthetik a hatékonyabb formációvédelmi eljárások kidolgozását. Eljárást dolgoztunk ki arra vonatkozólag, hogy a termelési geofizikai módszerek hogyan alkalmazhatók a formációkárosodási folyamatok kvalitatív és részben kvantitatív leírásában. Szénhidrogén-tárolókban ter-

melés hatására létrejövő károsodási jelenségek detektálására speciális monitoring rendszer bevezetését javasoltuk. Perforálási adatok statisztikus feldolgozásával újszerű eredményeket kaptunk a másodlagos rétegmegnyitás réteggárosító folyamatait illetően. A szelvényezési módszerek és a perforálási technológia ilyen irányú alkalmazásai a mélyfúrési geofizika hazai felhasználásának új fejezetét nyithatja meg.

Távlati célként két fő irány jelölhető ki. Egyrészt fontos a saját mérési adatrendszer bővítése és a matematikai modell továbbfejlesztése. A réteggárosodások még pontosabb kiértékelésében a jelenleg alkalmazott magvizsgálati módszerek továbbfejlesztésének lehet nagy szerepe. Másrészt fontos tény, hogy a jelenlegi modell nem in situ mérési adatokon alapszik. Fontos lenne, hogy a laboratóriumi magadatok mellett más, közvetlen mérési anyagra is támaszkodhassunk. Ebben lehet nagy szerepe a modern mélyfúrési geofizikai módszereknek.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk kifejezni köszönetünket az OTKÁ-nak, melynek anyagi támogatása tette lehetővé az itt ismertetett munka megvalósítását.

HIVATKOZÁSOK

SZÜCS P., ROBONYI A. 1995: A geofizika és a mélyfúrési technológia szerepe a formációvédelemben. MicroCAD 95 Nemzetközi Számítástechnikai Tudományos Konferencia, február 23., Miskolc, Egyetemváros. A: Geotechnika, bányászat, környezetvédelem szekció, 45–49

SZÜCS P., ROBONYI A. 1995: An applicable formation damage model in sandstone petroleum reservoirs. Publications of the University of Miskolc, Series A, Mining, 50, 267–273

SZÜCS P. 1995: A hagyományos statisztika alkalmazásának néhány veszélye. Előadás. V. Geomatematikai Ankét, Szeged

SZÜCS P. 1995: Áttekintés néhány olyan eltérésnormáról, amelyek minimalizálása inverziós algoritmus kidolgozását teszi lehetővé. Előadás. Geofizikai inverzió (módszerek és eredmények) c. tudományos ankét, Magyar Geofizikusok Egyesülete, Miskolc, december 12–13.

SZÜCS P., ROBONYI A. 1996: A hagyományos normalitásvizsgálat veszélye a földtudományokban. MicroCAD 96 Nemzetközi Számítástechnikai Tudományos Konferencia, február 29., Miskolc, Egyetemváros. A: Geoinformatika, környezetvédelem szekció, 59–64

ROBONYI A., SZÜCS P. 1996: Perforálások réteggárosító hatása. MicroCAD 96, Nemzetközi Számítástechnikai Tudományos

Konferencia, február 29., Miskolc, Egyetemváros. A: Geoinformatika, környezetvédelem szekció, 31–36

SZÜCS P. 1996: Theoretical and practical consequences of the global optimization methods. Acta Geodaetica, Geophysica Hungarica 30, 2–4, 301–312

SZÜCS P., ROBONYI A. 1996: Szénhidrogén-tárolókban létrejövő formációkárosodás matematikai modellezése. Előadás. MGE, Ifjú Szakemberek Ankétja, Balatonvilágos, április 25–26.

SZÜCS P., ROBONYI A. 1996: Földtudományi adatrendszerek elsődleges vizsgálatának veszélyei. előadás, Magyar Geofizikusok Egyesülete, Ifjú Szakemberek Ankétja, Balatonvilágos, április 25–26.

SZÜCS P., HURSÁN L. 1996: A mélyfúrési geofizika alkalmazásának lehetőségei a formációkárosodás mértékének meghatározásában. előadás, Kőolaj és Földgáz-bányászati Kommunikáció '96 Ankét, Szolnok, december 5–6.

SZÜCS P., ROBONYI A. 1997: Szénhidrogéntárolókban létrejövő formációkárosodás modellezése globális optimalizációval. MicroCAD 97, Nemzetközi Számítástechnikai Tudományos Konferencia, február 26–27., Miskolc, Egyetemváros, A: Geoinformatika, környezetvédelem szekció, 95–101.

ROBONYI A., SZÜCS P. 1997: A perforálás szerepe a formációvédelemben. előadás, Magyar Geofizikusok Egyesülete, Ifjú Szakemberek Ankétja, Tata, április 17–18.

SZÜCS P., ROBONYI A. 1997: Szénhidrogén-tárolókban létrejövő formációkárosodás matematikai modellezése. Magyar Geofizika 38, 1, 30–36.

SZÜCS P., TÓTH J., HURSÁN L., FERENCZY L., PALÁSTHY Gy., ROBONYI A. 1997: A magvizsgálat és a mélyfúrési geofizika szerepe a formációvédelemben. előadás, Magyar Geofizikusok Egyesülete 26. Vándorgyűlése, Sopron, szeptember 10–11.

ROBONYI A. 1997: A mélyfúrési és perforálási technológia szerepe a szénhidrogén-tároló formációk védelmében. Szakdolgozat, Környezet-menedzser szakirány, ME Gazdaságtudományi Kar, 1–45.

SZÜCS P., TÓTH J., PALÁSTHY Gy., SZABÓ N. P. 1998: A réteggompakció környezeti hatásai. MicroCAD 98, Nemzetközi Számítástechnikai Tudományos Konferencia, február 25–26., Miskolc, Egyetemváros, A: Geoinformatika, környezetvédelem szekció, 55–60

SZABÓ N. P., SZÜCS P. 1998: Szénhidrogéntelepekben létrejövő kompakció és annak hatásai. Előadás. MGE, Ifjú Szakemberek Ankétja, Kecskemét, április 23–24.

SZÜCS P., TÓTH J., ROBONYI A. 1998: The role of core analysis in formation damage evaluation. Sixth Symposium on Mining Chemistry, Siófok, Hungary, 27–30 September. Proceedings 125–130

ROBONYI A., SZÜCS P. 1998: Megjegyzések a perforálások réteggárosító mechanizmusához. Kőolaj és Földgáz, megjelenés alatt

ROBONYI András

