

DIÁKTUDOMÁNY

A MISKOLCI EGYETEM TUDOMÁNYOS
DIÁKKÖRI MUNKÁIBÓL

2014-2015.



MISKOLCI
EGYETEM
UNIVERSITY OF MISKOLC

„ÚTON a tudomány felé – tehetséggondozás az iskolapadtól a kutatói hivatásig”
TÁMOP-4.2.2.B-15/1/KONV-2015-0003

ISSN 2062-07-21

**MISKOLCI EGYETEM
TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI TANÁCS
VIII. KÖTET**

Szerkesztők:

Prof. Dr. Kékesi Tamás
Prof. Dr. Wopera Zsuzsanna
Dr. Dabasi Halász Zsuzsanna

* * * * *

Szerkesztő bizottság tagjai:

Dr. Bokányi Ljudmilla
Műszaki Földtudományi Kar
Dr. Szemmelveisz Tamásné dr.
Műszaki Anyagtudományi Kar
Dr. Kovács László
Gépészmérnöki és Informatikai Kar
Dr. Pásztorné dr. Erdős Éva, Dr. Varga Zoltán
Állam- és Jogtudományi Kar
Dr. Gadócziné Prof. Dr. Fekete Éva
Gazdaságtudományi Kar
Kegyessné dr. Szekeres Erika, Fekete Sándor
Bölcsészettudományi Kar
Dr. Fodor Bertalan
Egészségügyi Kar
Gáspárné Tóth Marica
Bartók Béla Zeneművészeti Intézet

* * * * *

Technikai szerkesztő:

Kupcsik Lászlóné
tanácsos
Lehoczkyné Tóth Alexandra
műszaki ügyintéző

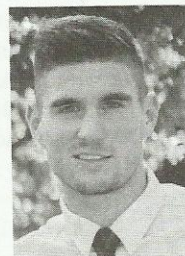
Nyomdai kivitelezés: Gazdász-Elasztik Kft.
Miskolc, 2015.
Felelős vezető: Vesza József

TARTALOMJEGYZÉK

	oldal
Előszó	8
Műszaki Földtudományi Kar	9
<i>Gál Péter</i> A bagolyhegyi metariolit formácóban (Bükk) felfedezett titán-, nióbium- és tantálásványok	10
<i>Kalmár Csilla</i> A Stoneley permeabilitás meghatározása primer porozitású hazai szénhidrogén tárolókban	16
<i>Miklós Rita</i> Vízkeimiai adatok gyakorlati felhasználási lehetőségei	22
<i>Pásztor Ádám Viktor</i> A perforáció kialakításának hatása a szénhidrogén termelő kutak produktivitására	27
<i>Pólya Imre Mátyás</i> LCD kijelzők háttérvilágításából származó LED-ek mechanikai előkészítése	33
<i>Pusztai Patrik – Lengyel Tamás</i> A hidraulikus rétegrepszítés gazdasági optimalizációja	38
Műszaki Anyagtudományi Kar	44
<i>Aczél Márton</i> Kátrány viselkedésének vizsgálata oxiszen tüzelés esetében	45
<i>Borsody Alpár</i> Platina-szén nanocső kompozit katalizátor vizsgálata oktadecén hidrogénezése során	51
<i>Kulcsár Tibor</i> Az elektrolitos önraffinálás hatékonyságának fejlesztése, az elektródfolyamatok folyamatos regisztrálása	57
Gépészmérnöki és Informatikai Kar	65
<i>Ágárdi Anita</i> Pilóta nélküli repülőgépek néhány úptimalizálási problémájának matematikai modellezése és megoldása	66
<i>Bartha Roland</i> Oracle apex kód generálás xforms leírásból	71



Pusztai Patrik és Lengyel Tamás, a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karának (ME-MFK) olaj- és gázmérnök szakos hallgatói. A témában már 2014 tavaszán is előadtak a Takács Ernő tudományos kari versenyen, ahol első helyezést értek el. A 2014 őszén megrendezett kari Tudományos Diákköri Konferencián a Műszaki Tudományi szekcióban második, majd 2015 márciusi OTDK-n ugyanebben a szekcióban harmadik helyezést értek el kutatómunkájukkal, melyből az alábbi cikk is készült.



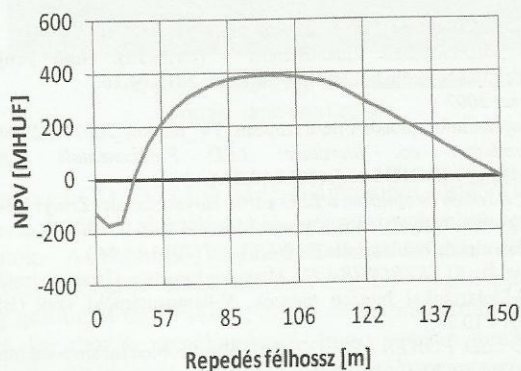
A HIDRAULIKUS RÉTEGREPESZTÉS GAZDASÁGI OPTIMALIZÁCIÓJA

Pusztai Patrik – Lengyel Tamás

Bevezetés

A nem-hagyományos szénhidrogénekre általánosan igaz, hogy az általánosan jellemző gyenge áteresztőképesség miatt, gazdaságos termeltetésük megvalósíthatatlan valamilyen rétegserkentő eljárás alkalmazása nélkül. Dolgozatunkban kifejezetten a tight gas (tömött homokkő) kategóriájú nem konvencionális szénhidrogén tárolótípussal foglalkoztunk. Ezen tárolókra kifejezetten jellemző a kis permeabilitás mellett az igen kis porozitás is, melynek következtében a földgáz, jellemzően rossz mozgóképessége és a korlátozott pórusos térfogat miatt beszélünk termeltetési nehézségekről. Ilyen esetekben az általánosan használt rétegserkentő eljárás a hidraulikus rétegrepszítés.

A rétegrepszítés egy rendkívül összetett mérnöki feladat, tervezése során számos tudományterület együttes alkalmazása szükséges. Emellett a hidraulikus rétegrepszítés számottevő költségekkel is jár, így kulcsfontosságú, hogy optimális tervezés és kivitelezés valósuljon meg. Munkánk során egy olyan több lépcsős algoritmust dolgoztunk ki, mely megfelelően kiválasztott bemenő – a tárolót jellemző - paraméterek alapján megadja az optimális repesztés paramétereit, gazdasági szempontokra vonatkoztatva. Egyértelmű - ahogy ezt az általunk készített 1. ábra is mutatja - hogy minél nagyobb a repesztési eljárás, annál kedvezőbb beáramlási körülményeket kapunk, ám ennek van egy optimuma, ami után már a megnövelt fakadó felszín kevesebb többlet profitot eredményez, mint a többletként befektetett repesztési költség.



1. ábra: Az eljárás nettó jelenértéke
Forrás: saját szerkesztés

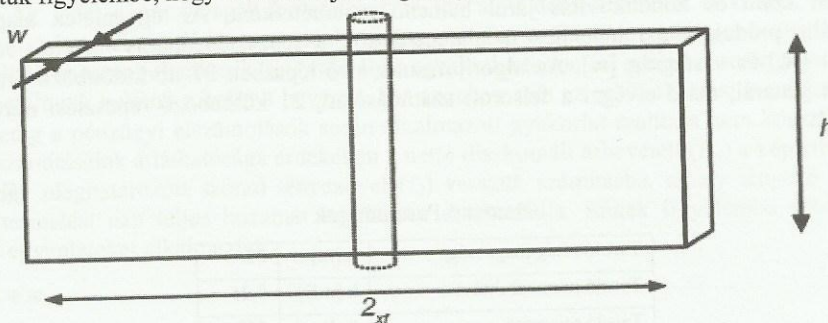


A felhasznált modell

A vizsgált rezervoár kőzete tömött homokkő, mely viszonylag mélyen 3500 és 4000 méter között helyezkedik el, erősen túlnyomásos, 500-600 bar nyomás jellemzi, továbbá a Magyarországon jellemző, magas geotermikus gradiensnek megfelelően, megközelítőleg 200 °C a tároló hőmérséklete. A tároló az úgynevezett „tight gas” nem-hagyományos szénhidrogén kategóriába sorolható, mely rendkívül kicsi 0,25 mD áteresztő képességgel párosul. A számítások egyszerűsítése érdekében a tárolót homogénnek tekintettük nem csak a permeabilitás, hanem a porozitás, nyomás- és hőmérséklet eloszlás tekintetében is. A nagy mélységnek és ennek következtében nagy nyomásnak köszönhetően a kőzet porozitása szintén rendkívül alacsony, mindössze 8-10 %-os. Az úgynevezett „drainage area” azaz beáramlási területünk négyzet alakúnak feltételeztük, 650 méter oldalhosszúságú. A tároló réteg magassága 65 méter, ami hagyományos tárolókat tekintve körülbelül 3-4 szerese a hazai tekintetben vett általánosnak, de nem-konvencionális „tight gas” típusú szénhidrogén előfordulásra ez egy általánosan jellemző méret, egyébként a hazai előfordulások esetében is, ehhez közeli méretekkel számolhatunk.

A repesztés geometriája

A repesztés geometriáját ideálisnak tekintettük, azaz a kútból két irányba kiinduló, tökéletesen szimmetrikus repedés geometriát feltételeztünk, amint azt a 2. ábra illusztrálja. Az ipari gyakorlat alapján (szervizvállalatok gyakorlati példái szerint), a tervezési kalkulációnál azt vettük figyelembe, hogy a tároló teljes magasságában létrejön a repedés.



2. ábra: Repedés geometria

Forrás: M. J. Economides, T. Martin: *Modern Fracturing – Enhancing Natural Gas Production*

A repesztő fluidum

A fluidum elsődleges feladatai a repedés létrehozása és kiterjesztése, a proppant (kitámasztó anyag) szállítása és többé-kevésbé egyenletes elosztása az egész repedés térfogatban, illetőleg, hogy könnyen visszatermeltethető legyen a repesztés végrehajtása után és a lehető legkisebb mértékben károsítsa a réteget. Dolgozatunkban a költségoptimalizálással foglalkozunk, ezért a repesztő folyadék kémiai és egyéb tulajdonságait nem, csak mint felmerült költséget vesszük figyelembe. A hatékonyság értékelése szempontjából fontos megjegyeznünk, hogy a besajtott fluidum mennyiségnek csupán 20-50 % hozza létre a repedést, a maradék 50-80 %-a pedig kiszűrődik, így ez jelentős költségnövekedést von maga után. Ennek alapján a modellünkben egy átlagos 65 %-os kiszűrődéssel vettük figyelembe a többlet fluidum okozta többletköltséget.

Kitámasztó anyag: proppant

A kitámasztó anyag, a proppant, ami egy mesterséges homok, a rétegrepszési eljárás egyik legfontosabb eleme, mint neve is mutatja a nagy nyomással létrehozott repedést hivatott kitámasztani annak megszűnése után, létrehozva egy jól kiszámítható porozitást és áteresztőképességet a repesztés teljes kiterjedésében. Tekintve a modellezett tároló szélsőséges HPHT (nagy nyomás és extrém magas hőmérséklet) körülményeit, a rendkívül ellenálló bauxit bázisú proppant kiválasztása mellett döntöttünk.

Az algoritmus felépítése

Kidolgozott algoritmusunk alapvetően három fő részből áll. Az első kiindulási rész a rétegrepszés méreteit és az ehhez tartozó maximális produktivitási indexeket számolja a bemenő paramétereknek megfelelően, a második rész az így kapott eredményeket használja fel a nyomáscsökkenés és ennek következtében a tranziens jelenségek figyelembe vételére. Végül a harmadik ciklus az így kapott eredményeket használja fel a gazdasági számításához, és az itt kapott optimumokat vetíti vissza a kiindulási repesztési paraméterekre, meghatározva ezzel az optimális repesztés gazdaságilag hasznos tartományát.

Az első főciklus

Az első főciklus az 1. táblázatban összefoglalt bemenő paraméterek alapján számol maximálisan elérhető produktivitási (termelékenység) indexet, melyhez a dimenzió nélküli proppant szám és konduktivitás járul bemenő paraméterként. Az egyenletek alapján a maximális produktivitási indexhez meghatározhatók a repesztés eljárás méretei: repedés félhossz [X_r] és vastagság [w]. Az algoritmusunk első lépésben 21 db különböző proppant tömeget generál, majd elvégzi a felsorolt számításokat, 21 különböző repesztési műveletet szimulálva.

1. táblázat:

Bemenő Paraméterek

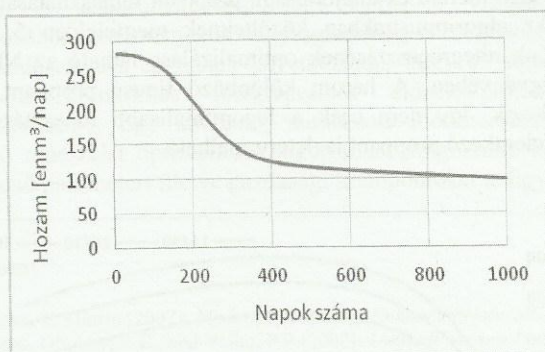
Tároló réteg magassága	h [m]	65
Tároló permeabilitása	k [mD]	0,25
Tároló nyomása	P_e [bar]	570
Kúttalpnymás	P_{wf} [bar]	475
Beáramlási terület oldalhossza	X_e [m]	650
Tároló hőmérséklete	T [K]	473,15
Gáz dinamikai viszkozitása	μ [cP]	0,03
Gáz relatív sűrűsége	γ_g [-]	0,709

Forrás: saját szerkesztés

Második Főciklus

A második főciklus a tranziens jelenségek elemzésére ad megoldást. A vizsgált intervallum 1000 nap, melyet felosztottunk 10 naponként 100 db kis ciklusra. A kis ciklus először is számol egy 10 napra kumulált gáztermelést majd ebből egy zárt gáztároló anyagmérleg egyenletéből egy új rétegnymást. Az új rétegnymásnak megfelelően módosul a gáz sűrűsége, a Pápay-összefüggés alapján a gáz eltérési tényezője, továbbá teleptérfogati tényezője. Ezek a megváltozott paraméterek együttesen módosítják a produktivitási indexet. A lecsökkent produktivitási index és depresszió (nyomáskülönbség) pedig együttesen csökkenti a hozamot. A következő kis ciklus pedig már az új lecsökkent hozammal számol.

A második főciklus végeredménye a 21 db különböző 1000 napra felhalmozott hozam, melyeket az idő- hozam koordináta rendszerben ábrázolt hozamcsökkenés görbe numerikus integrálásával kapunk meg.



3. ábra: Hozamcsökkenés

Forrás: saját szerkesztés

Harmadik főciklus: Gazdasági számítások

Az 1000 napra vizsgált bevételeket ez idő alatt diszkontálnunk is kellett, hiszen a jövőbeni pénz jelenértékét szeretnénk megkapni. Ez a feladatot azért nehezíti, mert a bevételünk naponta jelentkezik, így valójában egzaktul a termelési periódus során minden nap diszkontálnunk kellene a befolyt bevételt. Ezt azonban sem az optimalizálási munkánk célja, sem pedig a pénzügyi elszámolások során alkalmazott gyakorlat realitása nem követeli meg, így a számításaink átláthatósága érdekében a nettó diszkontált árbevételt (R_n) a képletben már csak egy meghatározott szorzó tényezővel (f_d) vesszük számításba, amely tényező már az 1000 termelési nap teljes hozamát együttesen diszkontálja. Ennek figyelembe vételére az alábbi egyenleteket alkalmaztuk:

$$K = 1 + \kappa$$

$$\frac{\sum_{n=1}^N \frac{S_n}{K^n}}{\$_{\text{összes}}} = f_d$$

ahol, κ az éves kamatlábat, f_d a diszkontálási szorzótényezőt, S pedig a jövőbeni bevételeket jelöli. A növekvő eljárás méretével növekvő vállalat fenntartási költségekkel (f_v) és állami adókkal (f_a) kellett számolnunk, amelyet az alábbi összefüggéssel vettünk figyelembe:

$$R_n = R_h \times S_h \times f_d \times (1 - f_v) \times (1 - f_a),$$

ahol az R_h az összes kitermelt gázmennyiség és S_h a gáz mindenkori ára. Így megkaptuk a nettó diszkontált árbevételt (R_n). A nettó jelenérték (NPV) pedig a jelenértékű bevétel (R_n) és kiadások ($\$_F$, $\$_K$, $\$_{KRE}$, $\$_{KRU}$, $\$_R$, $\$_M$, $\$_{FEL}$, $\$_E$, $\$_{prop}$) megfelelő előjelű összevonását jelenti, mely összefüggést az alábbi egyenlet adja meg:

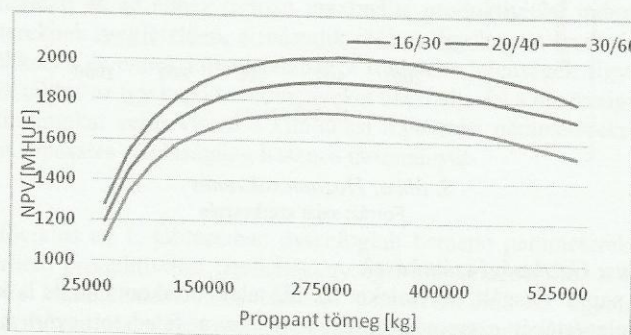
$$NPV = R_n - (\$_F + \$_K + \$_{KRE} + \$_{KRU} + \$_R + \$_M + \$_{FEL} + \$_E + \$_{prop})$$

ahol, az egyik legfontosabb bemenő paraméter az eljárás során felhasznált proppant ára ($\$_{prop}$) illetve annak bejuttatásához szükséges repesztő folyadék ára ($\$_{FLkg}$), amely meghatározásához az alábbi egyenletet alkottuk meg: ahol p_{prop} a kitámasztó anyag halmazsűrűsége és V_p a beszívattyúzott proppant térfogata.

Eredmények bemutatása

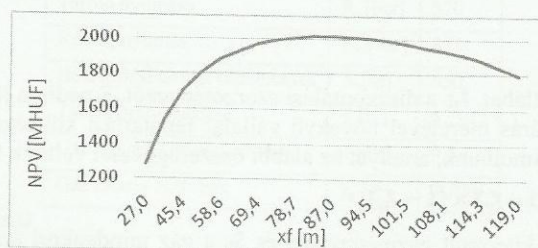
A programunk működésének szemléltetésére, számításainkhoz egy magyarországi tárolóra jellemző értékeket vettünk alapul, így egy 0,25 mD áteresztőképességű tároló esetét vizsgáltuk 95 bar depressziót (nyomáskülönbség a kúttalpon) feltételezve.

Három különböző méretű és tulajdonságú proppant felhasználását vizsgálva végeztük el számításainkat. Az algoritmusunkban közölteknek megfelelően 5. ábrán a 0,25 mD permeabilitású tárolónk rétegrepszítésének optimalizálása látható az NPV és a felhasznált proppant tömeg függvényében. A három különböző típusú proppant, három különböző maximummal jelentkezik, így nem csak a legoptimálisabb repesztés méretei, hanem a maximális NPV-vel jelentkező proppant is determinálható.



4. ábra: Nettó jelenértékek alakulása három különböző proppant felhasználásával
Forrás: saját szerkesztés

Az algoritmusunk által kirajzolt NPV görbék maximumának leolvasásával az optimális repesztés paraméterek meghatározhatók. Jelen esetben a maximális NPV eléréséhez 275 tonna, 16/30-as proppant besajtolása szükséges a repedés kitámasztásához. Így a legnagyobb nettó jelenérték eléréséhez szükséges X_f repedés félhossz értékek a felhasznált proppantok függvényében az alábbi módon alakulnak az előző ábrán leolvasott leghatékonyabb 16/30-as bauxit proppant esetében:



5. ábra: Optimális repedés félhossz alakulása
Forrás: saját szerkesztés

Megfigyelhető, hogy egy közel 87 méteres repedés félhossz kialakításával kapjuk a maximális NPV értéket, az-az közel 2 milliárd forintot.

Természetesen nem csak diszkrét megoldás létezik a görbék maximumának meghatározásához, hanem függvényillesztéssel egzakt megoldást kapunk, amelyet dolgozatunkban részletesen közöltünk. A bemenő paraméterek változtatásával a programban eltérő jellegű görbéket kapunk, amelyek így a legtöbb tároló esetén megadják az optimalizált NPV értékeket és az azokhoz tartozó optimális repedést jellemző geometriai értékeket.

Konklúzió

Kutatómunkánk során igazolást kaptunk modellünk és a kidolgozott algoritmusunk alkalmazhatóságáról. A szakirodalmakban leírt alapelvek visszaköszönnék a kapott eredményeinkben, továbbá, eredményeink nagyságrendileg is megfelelnek az ipari gyakorlat tapasztalatainak. Mindezek arra engednek következtetni, hogy az algoritmusunk megfelelő megoldást nyújt a hidraulikus rétegrepszítés előzetes/projektfejlesztés közbeni optimalizálásának kérdésére. Egy átlátható, numerikus módszereket kezelő és iterációs feladatokat megoldó repesztést optimalizáló algoritmust dolgoztunk ki, mely nem igényel jelentős számú bemenő paramétert illetve gazdasági szempontokat is figyelembe vesz.

Felhasznált irodalom:

1. M. J. Economides, T. Martin (2007): *Modern Fracturing. Enhancing Natural Gas Production*
2. M. J. Economides, Oligney, R.E., and Valko, P.P.(2002): *Unified Fracture Design*, Orsa Press,
3. Pápay J. (2013): *Exploitation of Unconventional Petroleum Accumulations. Theory and Practice*
4. Advanti, S.H., Khattib, H., and Lee, J.K.(1985): *Hydraulic Fracture Geometry Modeling, Prediction and Comparisons*, In: paper SPE 13863,.

Ezúton szeretnénk kifejezni köszönetünket Dr. Holoda Attilának közreműködéséért.

Lektorálta:

Dr. Holoda Attila

Ügyvezető igazgató

Aurora Energy