

**MŰSZAKI TUDOMÁNY AZ
ÉSZAK-KELET MAGYARORSZÁGI
RÉGIÓBAN
2017**

**KONFERENCIA
ELŐADÁSAI**

Nyíregyháza, 2017. június 01.

**Szerkesztette:
Edited by**

Dr. Bodzás Sándor

**Kiadja: Debreceni Akadémiai Bizottság
Műszaki Szakbizottsága**

ISBN 978-963-7064-35-7

Debrecen 2017

A konferencia szervezői:

*A Magyar Tudományos Akadémia Debreceni Területi Bizottság
(DAB) Műszaki Szakbizottsága,*

a Nyíregyházi Egyetem

A konferencia fővédnöke:

Dr. Kiss Ferenc

a Nyíregyházi Egyetem rektorhelyettese

A Konferencia Programbizottsága:

Ráthy Istvánné Dr., elnök

Dr. Bodzás Sándor, titkár

Dr. Békési Bertold	Dr. Turai Endre	Dr. Kovács Zoltán
Dr. Szigeti Ferenc	Dr. Szegedi Péter	Dr. Musinszki Zoltán
Dr. Kerekes Benedek	Dr. Lengyel Antal	Dr. Dezső Gergely
Dr. Dudás László	Dr. Pokorádi László	Dr. Poós Tibor
Dr. Tóth Lajos	Dr. Lámer Géza	Dr. Battáné Dr. Gindert – Kele Ágnes
Dr. Molnár Viktor	Dr. Hagymássy Zoltán	Dr. Czédli Herta

A konferencia kiadvány összeállításában segítséget nyújtottak a Debreceni Egyetem Gépészmérnöki Tanszékéről:

Balsa Péter tanszéki mérnök,

Békési Zsolt tanársegéd,

Nemes Csaba, Nemes Dániel, Neisz Dávid demonstrátorok

TARTALOMJEGYZÉK

TOKAJI Imre, ANTAL Tamás, KERESKES Benedek, SZŐLLŐSI István A KONVEKTÍV VÍZELVONÁS HATÁSA A SZÁRAZTÉSZTA FŐBB FIZIKAI PARAMÉTEREIRE	1
BALLA Zoltán, TAMÁS András, VÁNTUS András, HAGYMÁSSY Zoltán KÜLÖNBÖZŐ MŰTRÁGYÁK FIZIKAI TULAJDONSÁGAINAK VIZSGÁLATA	12
BALSA Péter, GÉRESI Zoltán Gergő, BODZÁS Sándor METSZŐKEREKES FOGVÉSÉS SZÁMÍTÓGÉPES TECHNOLÓGIAI TERVEZÉSE	18
BERÉNYI László FELNŐTTKÉPZÉSI MINŐSÉGBIZTOSÍTÁSI FELADATOK SZERVEZÉSÉNEK EGYES KÉRDÉSEI	25
BODNÁR István NAPELEM KARAKTERISZTIKÁK HŐMÉRSÉKLET-FÜGGÉSÉNEK MEGHATÁROZÁSA LABORATÓRIUMI KÖRÜLMÉNYEK KÖZÖTT	32
BUDAY Tamás A DEBRECENI IVÓVÍZ- ÉS MEGFIGYELŐ KUTAK ADATSORAIBÓL MEGHATÁROZHATÓ HŐMÉRSÉKLET-MÉLYSÉG ÖSSZEFÜGGÉSEK	40
CZÉDLI Herta, VARGA Zsolt HALLÉPCSŐK MŰSZAKI ÉS ÖKOLÓGIAI ELEMZÉSE	48
DARABOS Enikő, TÓTH Márton, LÉNÁRT László JELLEGGÖRBEK ALKALMAZÁSA LASSAN ÉS GYORSAN UTÁNPÓTLÓDÓ KÉSZLETEK HATÁRAINA MEGÁLLAPÍTÁSÁRA A BÜKK HEGYSÉGBEN	51
DEMETER Andrea AZ ÁLLAM FELSŐOKTATÁSRA FORDÍTOTT KIADÁSAINAK, MINT BERUHÁZÁS MEGTÉRÜLSÉNEK A VIZSGÁLATA	60
DEZSŐ Gergely, SZIGETI Ferenc, KÓSA Péter A GYÁRTÁSI ORIENTÁCIÓ HATÁSA AZ ANYAG HÚZÁSSAL SZEMBENI ELLENÁLLÁSÁRA ADDITÍV GYÁRTÁSSAL KÉSZÍTETT ALKATRÉSZEK ESETÉN	68

DÓCS Roland, JOBBIK Anita TERMÉSZETES PORÓZUS RENDSZEREKBE ÁRAMLÓ FOLYADÉKOK ESETÉBEN JELENTKEZŐ NYOMÁSVESZTESÉGEK VIZSGÁLATA	74
DUDÁS László, ARDAY Viktor FORGÓDUGATTYÚS BELSŐÉGÉSŰ MOTOROK ELŐNYEINEK ÉS HÁTRÁNYAINAK ELEMZÉSE A HAGYOMÁNYOS MOTOROKKAL ÖSSZEVEVVE	82
ERDŐSY Dániel, TÓTH Lajos ZENEI HANGOK SZÁMÍTÓGÉPES FELISMERÉSI MÓDSZEREI	90
FALUDI Tamás, MOLNÁR Viktor AZ ELLÁTÁSILÁNC-KOORDINÁCIÓHOZ KAPCSOLÓDÓ STRATÉGIAI DÖNTÉSTÁOGATÁSI TERÜLETEK	98
FARGÓ ENIKŐ, BUDAY TAMÁS KÖZETEK HŐVEZETÉSI TÉNYEZŐJÉNEK MEGÁLLAPÍTÁSA TŰSZENZORRAL	105
FEHÉR Krisztina, KAVAS László, ÓVÁRI Gyula, DVARGA Béla ÚJ MENTŐRENDSZEREK ÉS ELJÁRÁSOK AZ IRÁNYÍTHATATLANNÁ VÁLT REPÜLŐESKÖZÖK VÉSZEZHAGYÁSÁRA	112
FENYVESI Csaba, POKORÁDI László TERVELLENŐRZÉSI ESETTANULMÁNYOK ELEMZÉSE AZ ERŐMŰVI BIZTONSÁG SZEMPONTÁBÓL	120
HEGEDŰS Krisztián VÁLTOZÁSOK A REPÜLŐGÉP MEGHAJTÁSOK TERÜLETÉN	129
ILYÉS Csaba, ILYÉSNÉ MOLNÁR Emese CSALÁDI VÁLLALKOZÁSOK PÉNZÜGYI MAGATARTÁS FORMÁI ÉS A GENERÁCIÓVÁLTÁS	137
ILYÉS Csaba, TURAI Endre, SZŰCS Péter 110 ÉVES CSAPADÉKADATOK VIZSGÁLATA SPEKTRÁLIS ANALÍZISSSEL ÉS WAVELET- ELEMZÉSSL	146
ISKI Patrik, BODNÁR István FÁS SZÁRÚ BIOMASSZÁBÓL TÖRTÉNŐ VILLAMOSENERGIA-TERMELÉS MODELLEZÉSE ÉS HATÉKONYSÁGVIZSGÁLATA	154
JANIK József, VERMES Pál A KARBANTARTÁS MINT ÉRTÉKTEREMTŐ TEVÉKENYSÉG	162

KÁNTOR Tamás, ORLICZKI Máté ERŐMŰJI PERNYÉK ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEINEK VIZSGÁLATA A GEOTECHNIKAI TALAJJAVÍTÁSBAN	172
KERÉKES Benedek A NYÍREGYHÁZI EGYETEM KUTATÁSI ÉS FEJLESZTÉSI TERÜLETEI, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A MŰSZAKI TUDOMÁNYOKRA	180
KERÉKES ATTILA A FŰTÉSI ENERGIAFOGYASZTÁS ÉRZÉKENYSÉGE AZ ÉGHAJLATI TÉNYEZŐKRE	188
KINCSES Dávid, MEZEI Lajos, HAJDU Sándor JÁRMŰFEJLESZTÉST SEGÍTŐ KERÉKDINAMIKAI MODELLEK VIZSGÁLATA	196
KISS János, BODZÁS Sándor VILLANYBOJLER MEGFOGÓ SZERKEZET TERVEZÉSE ÉS MODELLEZÉSE	204
KOBA Máté MENTÉSI, FELDERÍTÉSI FELADATOKAT SEGÍTŐ ROBOTREPÜLŐGÉP BEMUTATÁSA	212
KOMPÁR László, SZŰCS Péter, PALCSU László, DEÁK József UTÁNPÓTLÓDÁSI VIZSGÁLATOK AZ ALFÖLDÖN	220
KORONVÁRY Péter, SZEGEDI Péter A KOCKÁZATMENEDEZSMENET ÉS A DRÓNOK GONDOLATOK A TECHNOLÓGIAI FEJLŐDÉS MARGÓJÁRA	228
KOVÁCS Enikő PÉNZÜGYI-GAZDASÁGI SZEMLELET ISKOLAI KÖRNYEZETBEN	234
KOZMA Ferenc, VARGA Ferenc CASE HIDRAULIKUS KOTRÓ GÉMTÖRÉSÉNEK VIZSGÁLATA	242
LÁMER Géza KONTINUUM, ÁLTALÁNOSÍTOTT KONTINUUM ÉS AZ ÁLTALÁNOSÍTOTT KONTINUUM ÁLTALÁNOSÍTÁSA	249
LÁMER Géza AZ ERŐKRE VONATKOZÓ AXIÓMÁK A MECHANIKÁBAN	277

LENGYEL Tamás, JOBBIK Anita KOMBINÁLT ANALÍZIS RENDSZER A PROPPANT KIVÁLASZTÁS OPTIMALIZÁLÁSÁRA	295
MOLNÁR András, CSABAY Zsolt, FAZEKAS Lajos, PÁLINKÁS Sándor, GINDERT – KELE Ágnes TERMIKUS SZÓRÁSSAL KÉSZÜLT NI- ALAPÚ RÉTEGEK ÚJRAOLVASZTÁSA LÁNGGAL ÉS A BEVONAT VIZSGÁLATA	304
MUSINSZKI Zoltán GAZDASÁGI ISMERETEK A MŰSZAKI FELSŐOKTATÁSBAN	311
NÁDASI Endre, TURAI Endre, SZABÓ Norbert Péter MAGNETOTELLURIKUS ADATOK STATISZTIKAI VIZSGÁLATA	318
NAGY Lajos, NAGY Orsolya Bernadett A TERMELÉS ÉS A KÉSZLETEK EGYIDEJŰ OPTIMALIZÁLÁSA SZIMULTÁN LINEÁRIS PROGRAMOZÁSI MODELLEL	325
NEMES Csaba, BODZÁS Sándor EGYENES ESZTERGAKÉS ÉLGEOMETRIÁJÁNAK TERVEZÉSE, MODELLEZÉSE ÉS VIZSGÁLATA	333
NÉMETH Roland A REPÜLŐGÉP HAJTÓMŰVEK ÉGŐTEREIBEN LEJÁTSZÓDÓ FOLYAMATOK ELEMZÉSE	340
NYIRI Gábor, SZŰCS Péter, ZÁKÁNYI Balázs AZ MNV2 MODUL ALKALMAZHATÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA CSÁPOS KUTAK HIDRAULIKAI MODELLEZÉSÉRE	348
PAJKOS Dorottya, KABAI Dóra MENEDZSMENT SZEREPE A DE-MK TEAM ALTERNATÍV HAJTÁSÚ JÁRMŰÉPÍTÉSÉBEN	355
PÁNYA Nándor A DRÓNOK RAJOKBAN TÖRTÉNŐ ALKALMAZÁSA	361
PERLAKI Attila, DUDÁS László EGY ÚJ SZEMANTIKUS ELVŰ SZOFTVERALKALMAZÁS - AZ INVERZ SZÓTÁR	371

POKORÁDI László, ÁGOSTON Gábor, FENYVESI Csaba KARBANTARTÓ SZAKEMBEREK VÉLEMÉNYÉNEK ELEMZÉSE A PÁROS ÖSSZEHASONLÍTÁS MÓDSZERÉVEL	379
POKORÁDI László, FARKAS Levente KANONIKUS RENDSZEREK MEGBÍZHATÓSÁG ELEMZÉSI MÓDSZEREINEK SZEMLÉLTETÉSE	387
POÓS Tibor, TAMÁS Kornél, KATONA Márton, HORVÁTH Dániel SZEMCSÉS ANYAGOK KEVERÉSI TELJESÍTMÉNYIGÉNYE KEVERŐS DOBSZÁRÍTÓBAN	395
POÓS Tibor, VARJU Evelin PÁROLGÁS JELENSÉGE GÁZ-FOLYADÉK ÉRINTKEZTETŐKBEN	403
POÓS Tibor, HORVÁTH Dániel, TAMÁS Kornél DISZKRÉT ELEMES MÓDSZERREL ÉS MÉRÉSEL MEGHATÁROZOTT RÉZSŰSZÖGEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA	411
POÓS Tibor, SZABÓ Viktor, CSÓKA Bendegúz MEZŐGAZDASÁGI SZEMCSÉS ANYAGOK SZORPCIÓS IZOTERMÁJÁNAK MEGHATÁROZÁSA	419
PREKOB Ádám, SIKORA Emőke, VANYOREK László MAG-HÉJ SZERKEZETŰ SZÉN NANOCSŐ ALAPÚ KATALIZÁTOROK FEJLESZTÉSE	427
PUSZTAI Patrik, JOBBIK Anita MICRO- ÉS NANOMÉRETŰ PÓRUSTEREKBE TÖRTÉNŐ GÁZÁRAMLÁS VIZSGÁLATA	435
RÁTHY Istvánné, PINKE Péter SZÁLERŐSÍTÉSŰ MŰANYAGOK FRÖCCSÖNTHETŐSÉGI VIZSGÁLATAI	443
RAVAI-NAGY Sándor, SZÁZVAI Attila, SZIGETI Ferenc, PAY Gábor László IPARI MŰANYAGOK FURATMEGMUNKÁLÁSI KÍSÉRLETEI KRIOGÉN TECHNOLÓGIÁVAL	453
REHO Sándor, L. SZABÓ Gábor HŐENERGIAIGÉNY VIZSGÁLATA EGY MODEL ÉPÜLETNÉL HŐFOKGYAKORISÁGI GÖRBÉVEL	459

ROMÁN Krisztina, ZSOLDOS Gabriella ALIFÁS SZÉNHYDROGÉNNEK ELLENÁLLÓ LÁGY PVC GRANULÁTUM REOLÓGIAI VIZSGÁLATA	466
ROZGONYI Valentin, L. SZABÓ Gábor, BODÓ Béla A FŰTÉS-HŰTÉSRE HASZNÁLT KÉT ÉS NÉGYCSÖVES FAN-COIL RENDSZEREK ÖSSZEHASONLÍTÁSA	470
SIKORA Emőke, PREKOB Ádám, VANYOREK László FORMÁZOTT NANOSZERKEZETŰ KATALIZÁTOROK FEJLESZTÉSE	476
SKRIBANEK Ádám, BODNÁR István, BLÁGA Csaba KAZÁNSZIVATTYÚ SZÜNETMENTES ENERGIAELLÁTÁSÁNAK BIZTOSÍTÁSA NAPELEMÉK KÖZBEIKTATÁSÁVAL	487
SOMOGYINÉ MOLNÁR Judit MÉRŐ-ADATGYŰJTŐ SZOFTVER FEJLESZTÉSE AKUSZTIKUS HULLÁMSEBESSÉGEK MÉRÉSÉRE KÖZETMINTÁKON	495
SZEGEDI Attila, LENGYEL Antal TRAKTOR HAJTÁSLÁNC VESZESÉGEINEK VIZSGÁLATA	503
SZEGEDI Péter, BÉKÉSI Bertold A DRÓNOK KATONAI ALKALMAZÁSA	511
TAKÁCS Attila HÁZI GYÁRTÁSÚ FPV UAV	517
TAMÁSI Kinga, HORVÁTH Balázs, ZSOLDOS Gabriella KÜLÖNBÖZŐ GYÁRTÁSI FELTÉTELEKKEL ELŐ ÁLLÍTOTT EVA KOPOLIMEREK SZERKEZETVÁLTOZÁSAINAK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA FTIR, DSC ÉS DMA MÓDSZEREKKEL	525
TIRCSI Hajnal A MAGYAR HONVÉDSÉG VEZETŐ KIVÁLASZTÁSI ÉS FELKÉSZÍTÉSI RENDSZERÉNEK INNOVÁCIÓJA A TECHNIKAI FEJLŐDÉS TÜKRÉBEN	533
TOMORI Zoltán, SZENTE József, VADÁSNÉ BOGNÁR Gabriella AZ OPTIMÁLIS PROFILELTOLÁS-TÉNYEZŐK MEGVÁLASZTÁSA A KEDVEZŐ KENÉS SZEMPONTJÁBÓL	542

TOMORI Zoltán, SZENTE József, VADÁSZNÉ BOGNÁR Gabriella A SÚRLÓDÁSI VESZTESÉG SZEMPONTJÁBÓL OPTIMÁLIS PROFILELTOLÁS- TÉNYEZŐK MEGVÁLASZTÁSA	550
TÓTH Dániel, TÓTH Sándor Gergő, SZILÁGYI Attila, TAKÁCS György CSAPÁGVIZSGÁLATI MÓDSZEREK ÁTTEKINTÉSE	558
TÓTH Lajos, NÉMETH Sándor ICL8038 TÍPUSÚ PRECÍZIÓS HULLÁMFORMA GENERÁTOR FELÉPÍTÉSÉNEK ÉS MŰKÖDÉSÉNEK SZIMULÁCIÓS VIZSGÁLATA	563
TRUZZI Alexandra, BODNÁR Ildikó, VARGA József OXIDATÍV LEBONTÁSRA IRÁNYULÓ MÓDSZERFEJLESZTÉSEK BIOLÓGIAILAG NEM VAGY NEHEZEN BONTHATÓ SZERVES ANYAGOKKAL TERHELT FELSZÍNI ÉS FELSZÍN ALATTI VIZEK IN SITU TISZTÍTÁSÁRA	571
TUMIK Ábel, MOLNÁR Viktor SORBANÁLLÁSI MODELLEK ÖSSZEHOSONLÍTÓ ELEMZÉSE, ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI ÉS KORLÁTAI	579
TURAI Endre, SZILVÁSI Marcell, NÁDASI Endre, ABORDÁN Armand REKULTIVÁLT HULLADÉKLERAKÓ BELSŐ SZERKEZETÉNEK VIZSGÁLATA GEOELEKTROMOS MÓDSZEREKKEL	586
VÁNTUS András, CSATÁRI Nándor, BALLA Zoltán A MŰSZAKI FEJLESZTÉSEK HATÁSA AZ EREDMÉNYESSÉGRE	594
VARGA Gyula Gábor, JOBBIK Anita A FÚRÁSI ISZAPOK SZEREPE ÉS ALKALMAZÁSI HATÁRAI HPHT VIZSZONYOK KÖZÖTT	601
VARGA Zsolt, CZÉDLI Herta 0,1 M/PIXEL FELBONTÁSÚ ORTOFOTÓ PONTOSSÁGVIZSGÁLATA KÜLÖNBÖZŐ FELBONTÁSÚ DDM-EK ALAPJÁN	609
ZÁKÁNYI Balázs, SZÉKELY István, ZÁKÁNYINÉ MÉSZÁROS Renáta HORMONRENDSZERT BEFOLYÁSOLÓ ANYAG (EDC) ÁTSZIVÁRGÁSÁNAK LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATA KÜLÖNBÖZŐ TALAJMINTÁKON	615
MOLNÁR Dániel, DEZSŐ Gergely KÖZÚTI JÁRMŰSZERELVÉNY MÖGÖTT KIALAKULÓ ÁRAMLÁS MODELLJÉNEK FELÉPÍTÉSE ÉS MEGOLDÁSA	622
A KONFERENCIÁN KÉSZÜLT FÉNYKÉPEK GYŰJTEMÉNYE	628

MICRO- ÉS NANOMÉRETŰ PÓRUSTEREKBE TÖRTÉNŐ GÁZÁRAMLÁS VIZSGÁLATA

INVESTIGATION OF GAS FLOW IN MICRO- AND NANOSIZED POROUS MEDIA

PUSZTAI Patrik¹, JOBBIK Anita²

¹műszaki ügyintéző, pusztai@afki.hu

¹Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet, Miskolci Egyetem

²osztályvezető, jobbik@afki.hu

² Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet, Miskolci Egyetem

Kivonat: A világ egyre növekvő energiaigénye, valamint a fosszilis energiahordozók jövőbeli készletnövekedésének, hosszú távú prognózisok alapján jelzett csökkenése magával vonta az egyre nehezebben hozzáférhető fosszilis, illetve a megújuló energiaforrások hasznosításának növekvő trendjét. Szénhidrogének és különösen a földgáz tekintetében a világ termelésében egyre nagyobb mértékben vannak jelen az ún. nem-hagyományos vagy más néven nem konvencionális szénhidrogének. Mely nem-hagyományos szénhidrogén előfordulások kutatása és termelésbe állítása izgalmas, komoly szakmai és műszaki kihívásokat állít a jelen és jövő mérnökei elé.

Kulcsszavak: anyagmérleg egyenlet, adszorpció, gázáramlás

Abstract: The growing requirement for energy and decreasing quantity of fossil fuels are forced the present engineers to find alternative solutions. This phenomenon is valid in case of hydrocarbons too, where the role of unconventional reservoirs is getting more significant at recent times. Natural gas production from these types of reservoirs has been developed remarkably in the past few decades thanks to the technology advancement.

Keywords: material balance, adsorption, gas flow

1. BEVEZETÉS

Ezen nem-hagyományos szénhidrogének (jelen dolgozat esetében természetes földgáz) jellemzően rendkívül kis pórusterekben találhatóak, melyek hatással vannak az áramlásokat leíró egyenletekre és a tárolót jellemző anyagmérleg egyenletre. Magyarországi körülményeket tekintve a kis pórusterek mellett rendkívül magas nyomás és hőmérséklet értékek is jellemzőek. Az alábbi körülmények között lévő földgázt tartalmazó rezervoárok viselkedésének tanulmányozása elengedhetetlen a nem-konvencionális földgáz tárolók (tömött homokkő tárolók, palagáz tárolók) gazdaságos kitermeléséhez.

Ebben a munkában a különböző áramlási modellek összehasonlítása és elemzése kerül bemutatásra egy új bővített anyagmérleg egyenleten keresztül, mely a nem konvencionális földgáz tárolókban jelenlévő mechanizmusok valamennyiét jellemzi. A modellen keresztül egy gazdasági elemzés is bemutatásra kerül, melynek segítségével a tárolók gazdasági elérhetősége különböző hozamnövelő eljárások segítségével vizsgálható. Végezetül egy magyarországi hidraulikusan rétegrepszett földgáztároló termelési eredményein keresztül vizsgáltam a modell alkalmazhatóságát.

2. BASIC MECHANISM

Mivel az átlagos pórusméretek a nem-hagyományos földgáztárolók esetében mindössze 1-2 nagyságrenddel nagyobbak, mint az abban jelenlévő földgáz molekulák (főként metán

molekula), így kimagasló fontosságú a gáztárolás szempontjából jelenlévő mechanizmusok megértése és figyelembe vétele. Jellemzően 5 mechanizmust különböztetünk meg, amelyek sorra [1]:

1. adszorbeálódott gáz a pórusok belső felületén
2. konvencionális (nyomás alatti gáz) tárolás a természetes és hidraulikusan indukált repedésben
3. konvencionális tárolás a porózus mátrixban (szerves és szervetlen)
4. formáció vízben oldott formában jelenlévő földgáz
5. abszorbeálódott földgáz a szerves anyagban

Mivel a meglévő modellek jellemzően alul becsülik az ilyen tárolókból történő termelések értékeit, így dolgozatomban fő célja a lehető legtöbb jelenség integrálása egy modellbe, amely még matematikailag könnyen kezelhető. Ezért a szakirodalomban kidolgozott anyagmérleg egyenletek bővítése a fentebb említett mechanizmusokkal elengedhetetlen fontosságú volt.

Magyarországi rezervoárokat tekintve jellemzően kevésbé repedezett formációk vannak jelen, mint az Egyesült Államokban található kismélységű palagáz tárolók, így a 2. jelenséget elhanyagolhatónak tekintettem. Ezen kívül a repedések inhomogén eloszlása nagymértékű bizonytalanságot eredményezne repedezett formációk esetén, melyeket csak modern geofizikai feltérképezésekkel és összetett rezervoármechanikai modellezésekkel lehetne csökkenteni.

A Miskolci Egyetem Alkalmazott Földtudományi Kutató Intézetében (AFKI) vizsgált magminták általában kismértékű szerves anyag tartalommal rendelkeztek, így az 5. pont, vagyis a szerves anyagban megkötött (abszorbeált) földgáz jelenlétének vizsgálata is elhanyagolható volt. Az 1., 3. és 4. pontok modellbe való megfelelő integrálása elfogadható közelítést adott a magyarországi nem-konvencionális földgáztárolók jellemzésére.

3. ANYAGMÉRLEG EGYENLET

Rezervoármechanikai terminológiában az anyagmérleg egyenletek egy anyag megmaradási összefüggést fejeznek ki, melyeknek köszönhetően becsülhetővé válik a tároló termeltetéséből eredő nyomáscsökkenés. Tömött kis pórusterekkel rendelkező formációk esetében rendszerint megfelelő pontossággal alkalmazhatóak a zárt tárolókra jellemző anyagmérleg egyenletek. Jelen modellben is ezt alkalmaztam. A kitermelés hatására bekövetkező nyomáscsökkenés következtében az alábbi jelenségek mennek végbe: a porózus mátrixban jelenlévő földgáz tágulása, a kőzet és a formáció víz tágulása, a pórusok belső felületén adszorbeálódott gáz leválása, valamint a formáció vízben oldott földgáz kiválása. Ezek a jelenségek redukálják a nyomáscsökkenés értékét, ezáltal kisebb mértékű nyomáscsökkenés realizálható egységnyi földgáz kitermelése esetén az ilyen tárolók vizsgálata során.

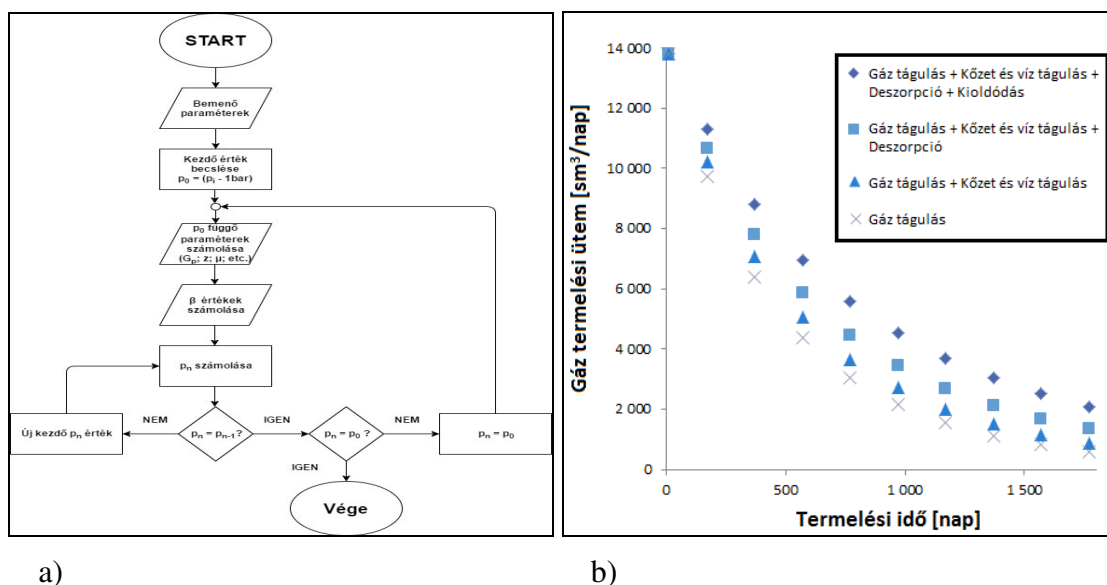
Ezek alapján a kumulált gáztermelés megegyezik a nyomáscsökkenés által bekövetkezett, egyes mechanizmusok hatásának összegével. Ezek a mechanizmusok matematikailag kifejezve egy rendkívül összetett függvényt eredményeznek, mivel a metán oldódása vízben csak komplex korrelációval határozható meg magas nyomású és hőmérsékletű tárolók esetében [2]. Valamint az adszorpció figyelembe vételére az egyrétegű adszorpciót feltételező Langmuir izotermát alkalmaztam. Így a nyomáscsökkenés értékét csak numerikus közelítéssel lehet meghatározni, amelyhez a Newton módszert alkalmaztam. A módszer lényege a következő: kiindulunk egy pontból, amely az igazi gyökhöz elég közel található (jelen esetünkben a kezdő rezervoár nyomástól 1 bar-os nyomáscsökkenést feltételezve). A függvényérték ebben a pontban megközelítőleg az ehhez a ponthoz húzott érintőn található (amelyet meghatározhatunk a függvény deriváltjával), majd kiszámoljuk ennek az érintőnek

az x tengellyel való metszéspontját. Ezt követően a lépést megismételjük a kapott metszéspont értékét tekintve az új kezdőpontnak. Így egy iteratív lépéssorozattal pár számítási ciklust elvégezve megkapjuk a termelés hatására bekövetkezett nyomáscsökkenés értékét (jól konvergáló függvényről lévén szó).

$$f(p) = \frac{\beta_{11}}{p} + \beta_{14} - \beta_3 * p + \frac{\beta_{13}}{p} - \frac{\beta_4}{p} * \frac{V_L * p}{P_L * p} + \frac{\beta_5}{p} * [\beta_6 - e^{\beta_7 - \beta_8 * (p * C1) + \beta_9 * \ln(p * C1) + \beta_{10} * \ln(p * C1)}] - \frac{\beta_{15}}{p} \quad (1)$$

$$p_n = p_{n-1} - \frac{f(p)}{f'(p)} \quad (2)$$

Azonban az alapfüggvényben feltételezett konstans β értékek tartalmaznak tagokat, melyek szintén függenek a nyomásváltozástól. Így ennek megoldására egy implicit módszert javasoltam, mely során a kapott, lecsökkent nyomás értékével a konstansokat újra számolva és ismételten elvégezve a Newton módszert a tényleges nyomáscsökkenés értékre, már egy pontosabb megoldást kapunk. Ezt az algoritmust addig kell ismételni, míg a kezdő nyomás érték és a számolt értékek nagy pontossággal megegyeznek. Ez a legtöbb esetben 3-4 számolási lépés után bekövetkezik.

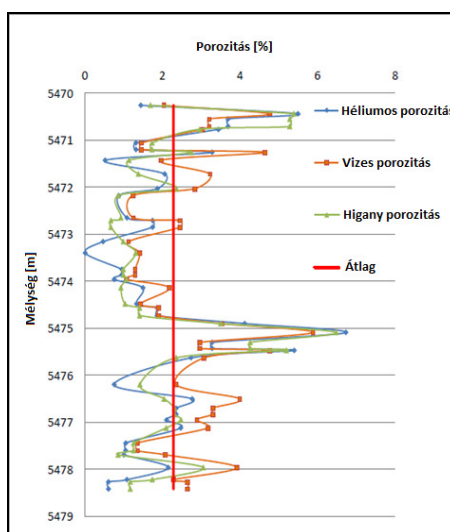


1. ábra. Számolási algoritmus a nyomáscsökkenés meghatározására és termelési ütemek változása különböző mechanizmusok figyelembe vétele mellett

Az alábbiakban bemutatott bővített, zárt gáztárolókra jellemző anyagmérleg egyenlettel és annak implicit megoldásának segítségével vizsgáltam számos gázáramlási modell viselkedését, bemenő paramétereknek pedig az AFKI által mért UHPHT tartományból származó magmintáit választva.

4. MÉRÉSEK

43 magminta érkezett a Miskolci Egyetem Alkalmazott Földtudományi Kutató Intézetébe, 5470-5478,5 m-es mélységű tömött homokköves formációból, melyeken számos mérést végeztünk el. Valamennyi magmintán kivitelezve lett porozitás mérés, abszolút permeabilitás (áteresztőképesség) mérés, tapadó víztelítettség mérés, valamint pórusméret-eloszlás mérés. Porozitás mérést három eltérő közeg besajtolásával is elvégeztük, melyek sorra formáció víz (nedvesítő folyadék), hélium gáz és higany (nem nedvesítő folyadék). A különböző fázisokkal kapott kissé eltérő értékeket átlagoltuk majd az egyes magmintákra jellemző értékeknek szintén az átlagát vettük kezdő bemenő paraméternek. Ennek értéke a tömött homokkő tárolókra jellemzően igen alacsony 2,29% lett.



2. ábra. Porozitás mérés eredményei

Permeabilitás mérést formáció vízzel és nitrogén gázzal végeztük el, majd a porozitás mérések kiértékeléséhez hasonlóan határoztuk meg a formációra jellemző abszolút permeabilitás értékeket, mely a vártaknak megfelelően igen alacsony 0,0035 mD lett.

Tapadó víztelítettség mérést formáció víz és higany besajtolásával végeztük el, melynek során igen magas, átlagosan 86%-os értéket kaptunk.

Pórusméret eloszlást higany besajtolásával határoztuk meg, mivel ez a közeg nem nedvesíti a kőzetet. Átlagos pórusugárnak 55,22 nm adódott, mely prognosztizálta a Darcy áramlástól eltérő viselkedést.

5. ÁRAMLÁSI MODELLEK

Az áramlások leírására a szakirodalomban különböző áramlási tartományokat határoztak meg annak függvényében, hogy milyen hatások érvényesülnek [3]. Ezeket a tartományokat egy arányszám segítségével az úgynevezett Knudsen-szám bevezetésével határozták meg. A Knudsen-szám a közepes szabad úthossz és a pórusátmérő aránya. A közepes szabad úthossz a molekulák áramlása során az egymással való ütközések között megtett átlagos távolság. Ennek értéke fordítottan arányos a nyomással és egyenesen arányos a hőmérséklettel, valamint fordítottan és négyzetesen arányos a pórusátmérővel.

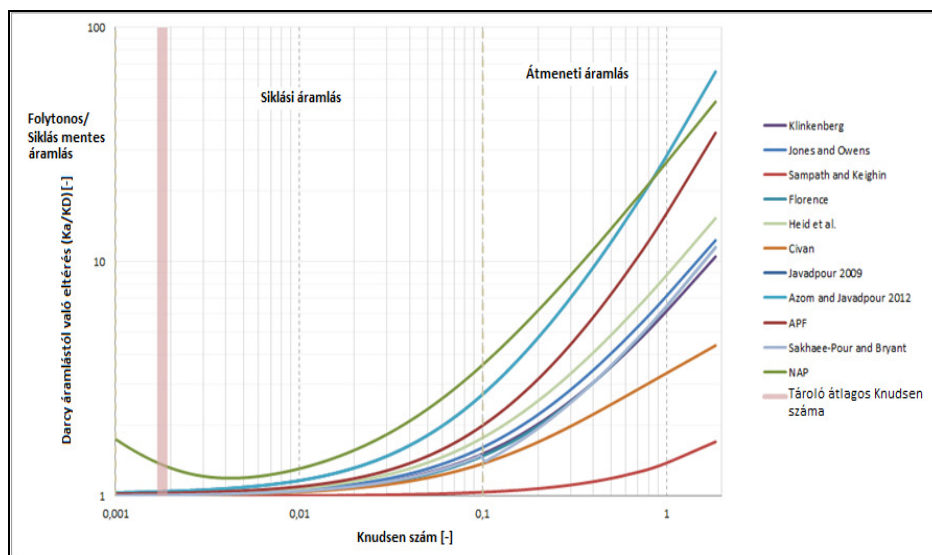
$$\lambda = \frac{K_B \times T}{\sqrt{2} \times d^2 \times \pi \times p} \quad (3)$$

Minél kisebb a Knudsen-szám értéke annál inkább viszkózus az áramlás és a folyamat könnyen leírható a Darcy egyenlet segítségével. Ebben a tartományba (folytonos áramlási tartomány) a kis arányszám következtében a molekulák egymással való ütközése determináns.

10^{-3} feletti Knudsen-szám esetében a siklás jelenségét is figyelembe kell venni [4], amely azért alakul ki, mivel a molekulák pórusfallyal való ütközése többé nem elhanyagolható. Ennek köszönhetően az áramlás sebességprofilja a pórus falok mentén nem zéró, így átlagosan nagyobb az áramlás sebessége. Ezen tartomány vizsgálatára hat, a szakirodalmakban fellelhető modellt alkalmaztam.

0,1 érték felett az úgynevezett tranziens áramlási tartományba lépünk át. Ebben az esetben a molekulák pórusfallyal történő ütközése a meghatározó és egy nyomás vezérelt folyamat irányából, egy koncentráció vezérelt folyamat (úgynevezett Knudsen diffúzió) irányába tolódik az áramlás. Ennek leírása összetett matematikai modelleket követel, melyeket rendszerint a Navier-Stokes összefüggések esetében alkalmazott különböző határfeltételek bevezetésével érnek el. Dolgozatomban öt tranziens áramlási tartományra javasolt modell viselkedését vizsgáltam.

10-től nagyobb Knudsen-szám esetében az áramlási tisztán diffúzió útján megy végbe.



3. ábra. Különböző modellek viselkedése eltérő Knudsen-szám esetén

Jól látszik minden modell az abszolút permeabilitástól eltérő, egyre nagyobb látszólagos permeabilitás értéket jelez előre a Knudsen-szám növekedésével. A modellek, melyek a diffúzió jelenségét is vizsgálják, a siklás jelensége mellett átlagosan magasabb látszólagos átteresztőképességet határoznak meg azonos Knudsen-számok esetében. Az NAP [5] modell viselkedése azért ambivalens a többi modellhez képest, mivel teljes mértékben elhanyagolja a siklási jelenséget. Rózsaszínnel emeltem ki a vizsgált tároló átlagos Knudsen-szám tartományát, amely jól látszik a folytonos és a siklási tartomány határán van. Ez az érték a kis pórusméretek ellenére azért lehetséges, mivel ultra magas nyomás tartomány (közel 1100 bar) jellemzi a formációt.

Úgy tűnhet nincs lényegi eltérés az egyes modellek között a tárolóra jellemző tartományban, azonban több éves nagymértékű gáztermelést feltételezve számottevő eltérések alakulhatnak ki.

6. EREDMÉNYEK

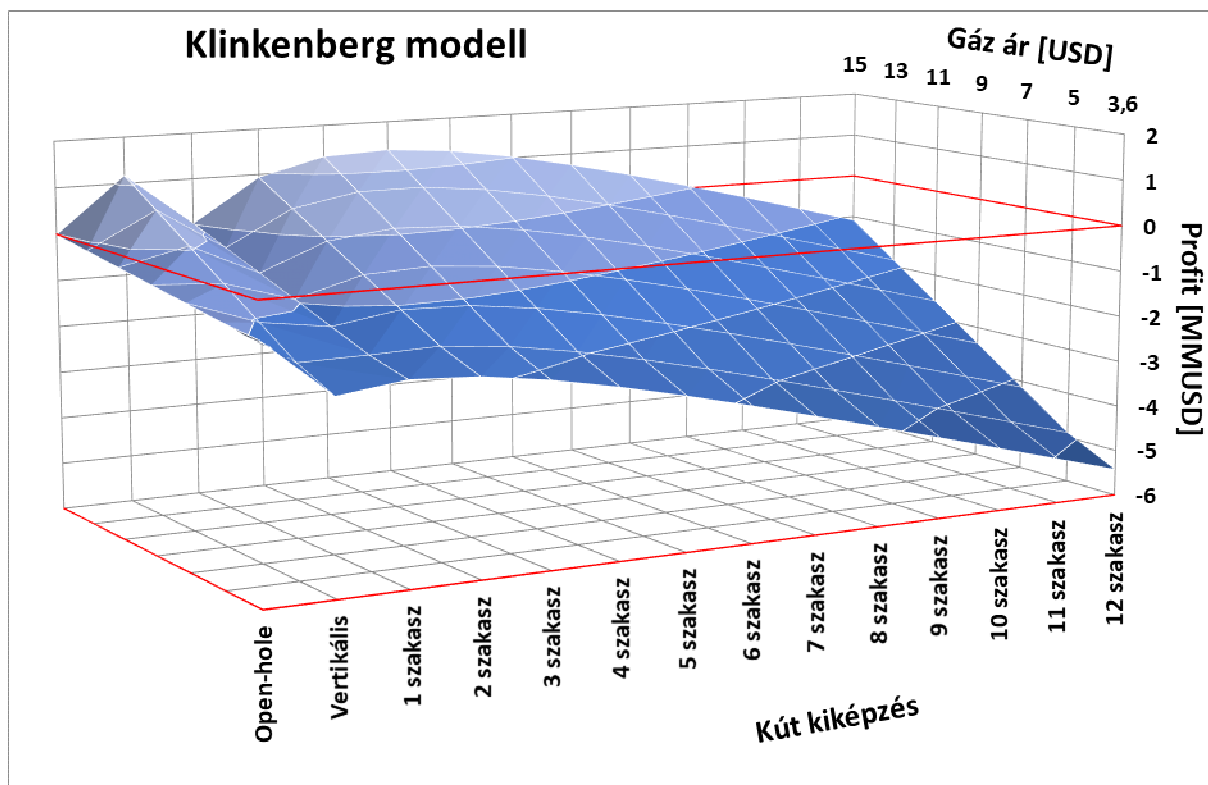
Első esetben nyitott lyuktalpi termelést feltételezve (mely során radiális áramlás alakul ki a kút környezetében) a termelések alakulását és a Darcy modelltől való eltérések arányát az alábbi táblázat tartalmazza. Minden egyes modell esetében le lett futtatva a program 1 napos időléptéket választva alapul, 5 éves termelési periódust feltételezve.

1. Táblázat Nyitott lyuktalpi termelés esetén az eredmények

Modellek	Kezdeti termelés [m ³ /nap]	Eltérés [%]	Kumulált termelés [m ³]
<i>L.J. Klinkenberg, 1941</i>	1 048,9	0,43	1 657 087
<i>F.O. Jones and W.W. Owen, 1979</i>	1 049,8	0,51	1 658 349
<i>K. Sampath and C.W. Keighin, 1981</i>	1 044,8	0,03	1 651 003
<i>J.G. Heid et al, 1950</i>	1 051,2	0,65	1 658 349
<i>F. A. Florence et al, 2009</i>	1 048,1	0,35	1 655 882
<i>F. Civan, 2010</i>	1 048,0	0,34	1 655 657
<i>F. Javadpour, 2009</i>	1 063,8	1,86	1 677 526
<i>P. Azom and F. Javadpour, 2012</i>	1 063,8	1,85	1 677 500
<i>H. Darabi et al., 2012 (APF)</i>	1 062,8	1,76	1 676 472
<i>A. Sakhaee-Pour and S.L. Bryant, 2012</i>	1 048,8	0,42	1 656 902
<i>H. Singh et al., 2014 (NAP)</i>	1 994,6	90,97	2 714 736

Jól látszik nincsen jelentős eltérés a Darcy modell viselkedésétől a siklasi modellek esetén, ugyanis a folytonos áramlás határán történik az áramlás, így a siklás jelensége csak rendkívül kis mértékben befolyásolja a kapott értékeket. Azon modellek, melyek a diffúzió jelenségét is magukba foglalják a vártaknak megfelelően kissé nagyobb hozamokat jeleznek előre. Az NAP modell lényegesen nagyobb hozamokat jelez előre, azonban ennek a modellnek a viselkedése az előzőekben részletezettek alapján megkérdőjelezhető.

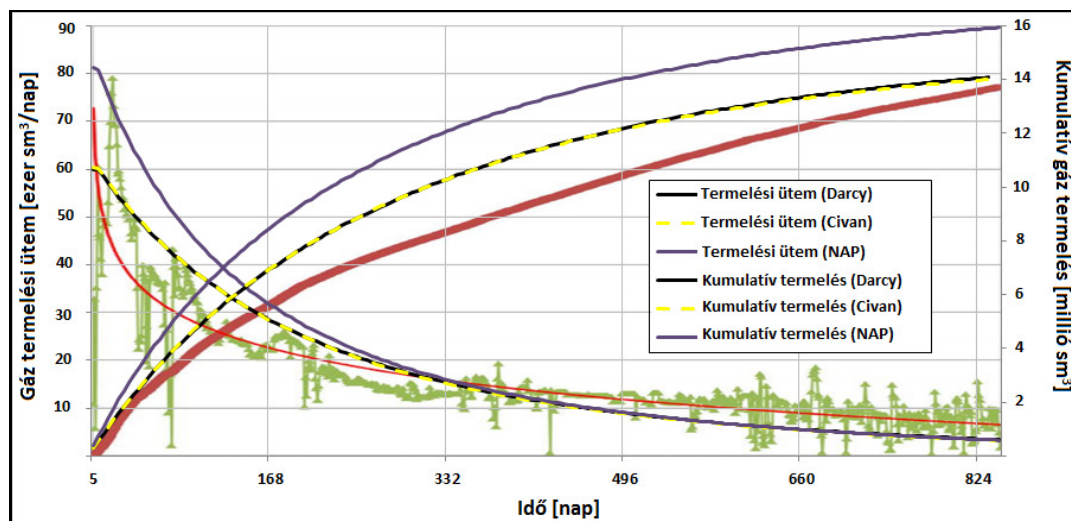
A kezdeti hozamok és az 5 éves termelési ciklusra kumulált hozamok minden modell esetén rendkívül alacsony értékeket prognosztizálnak. Ez okból kifolyólag a programot lefutattam vertikális és többszörösen repesztett horizontális, transzverzális kútkiképzés esetére is. Hidraulikus rétegrepesztés segítségével egy lényegesen nagyobb beáramlási felület érhető el, melyen keresztül már egy közel lineáris áramlás alakul ki, így lényegesen nagyobb hozamok érhetőek el az adott tárolókból. Ezen eredményeket azonban csak a Klinkenberg modell esetén prezentáljuk, mely modell esetén a siklasi faktor értéke nem korreláció segítségével számolt, hanem egy mért érték, így pontosabban determinált a siklás jelensége.



4. ábra: Különböző kútkiképzések gazdasági vizsgálata az algoritmussal

Megfigyelhető, hogy a földgáz jelenlegi világpiaci ára (5 USD) mellett semmilyen kútkiképzés esetében sem gazdaságos a kút termeltetése. Azonban a gázár alakulása nem csak a profit változását eredményezi, hanem meghatározza az optimális kútkiképzés módszerét is. 3,6 USD gázár mellett a legkevésbé veszteséges eljárás a nyitott lyuktalpi kútkiképzés esetén lehetséges, mivel a hidraulikus rétegrepszttéssel elért többletermelés nem fedezi az eljáráshoz szükséges többlet kiadásokat. Azonban 9 USD gázár mellett a kút termeltetése már gazdaságos, illetve vertikálisan kivitelezett hidraulikus rétegrepszttés az optimális. Míg 15 USD gázár mellett a 4 szakaszban kialakított vízszintes rétegrepszttés eredményezi a legnagyobb profitot.

Mivel a kút hosszú távú termeltetése nem történt meg gazdasági okokból, így a modell pontos viselkedését ezen tároló esetére nem tudtuk megvizsgálni. A modell alkalmazhatóságát egy másik magyarországi hidraulikusan rétegrepszttett gáztároló esetén vizsgáltam. Ez a formáció nagyobb pórusterekkel és kisebb formációnyomással rendelkezik, mint az előbbieken vizsgált. A tárolóra jellemző Knudsen-szám folytonos áramlási tartományt feltételez. Valós termelési adatokhoz képest hasonlítottam össze az algoritmus működését különböző áramlási modelleket feltételezve. Jól látszik a Darcy modell és a siklási tartományra ajánlott Civan modell viselkedése között nincs eltérés és nagy pontossággal jelzi előre a termelési értékeket, míg az NAP modell felülbecsli a gáztermelést.



5. ábra. Modell alkalmazhatóságának vizsgálata

7. ÖSSZEFOGLALÁS

Tanulmányomban a már meglévő anyagmérleg egyenleteket bővítettem ki, ennek segítségével a micro- és nanoméretű pórusterekben történő gázáramlások vizsgálhatóak. A bővített anyagmérleg egyenlet megoldására egy több lépcsős számolási algoritmust dolgoztam ki, melynek segítségével összehasonlíthatóak a különböző áramlási tartományokra jellemző áramlási modellek.

Számos mérést végeztünk egy magyarországi ultra magas nyomású és hőmérsékletű tömött homokkő formációból származó magmintákon a modell bemenő paramétereinek meghatározására. A programot valamennyi modell esetében lefutattam és elemeztem a kapott eredményeket. Az olajiparban leggyakrabban alkalmazott rétegserkentő eljárás, vagyis a hidraulikus rétegrepszítés programba való integrálásával kiterjesztettem annak alkalmazhatóságát. Gazdaságilag megvizsgáltam az egyes kútkiképzések esetét és összegeztem eredményeimet.

Végezetül az algoritmus alkalmazhatóságát vizsgáltam meg egy magyarországi hidraulikusan rétegrepszített tároló esetében, mellyel bebizonyítottam annak megfelelő működését és gyakorlati alkalmazhatóságát.

8. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **HAGSHENAS, B.; CLARKSON C.R.; CHEN, S.,** *New Models for Reserve Estimation and Non-Darcy Gas Flow in Shale Gas Reservoirs*, SPE 167789, 2014, University Calgary Bulletin, 93, 329-40, 2014
- [2] **BLOUNT, C.W. and PRICE, L.C.,** *Solubility of Methane in Water under Natural Conditions a Laboratory Study*, Department of Geology, Idaho State University, Pocatello, Idaho 83209, <https://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/5281520/>, 1982
- [3] **REZAAE, R.,** *Fundamental of gas shale reservoirs*, Wiley, New Jersey, 2015
- [4] **KLINKENBERG, L.J.,** *The permeability of porous media to liquids and gases*. 1941
- [5] **SINGH, H.; JAVADPOUR, F.; ETTEHADTAVAKKOL, A.; DARABI, H.** *Nonempirical apparent permeability of shale*, SPE-170243-PA, SPE Journal Paper Reservoir EvalEng; 17(03):414–24., 2014