

**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 HŐMÉRSÉKLETFÜGGÉSÉNEK 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 KOCKÁZATMENEDZSMENT 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 TERMÍKUS SZÓRÁSSAL KÉSZÜLT NI- ALAPÚ RÉTEGEK ÚJRAOLVASZTÁSA LÁNGGAL ÉS A BEVONAT VIZSGÁLATA	304
MUSINSZKI Zoltán GAZDASÁGI ISMERETEK A MŰSZAKI FELSOÓKTATÁSBAN	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 ÖSSZEHASONLÍTÓ 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 VISZONYOK 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

KOMBINÁLT ANALÍZIS RENDSZER A PROPPANT KIVÁLASZTÁS OPTIMALIZÁLÁSÁRA

COMBINED ANALYSIS SYSTEM FOR PROPPANT SELECTION OPTIMIZATION

LENGYEL Tamás¹, JOBBIK Anita²

¹műszaki ügyintéző, lengyel@afki.hu

¹Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet, Miskolci Egyetem

² Ph.D. tudományos főmunkatárs, jobbik@afki.hu

MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport

² Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet, Miskolci Egyetem

Kivonat: A hidraulikus rétegrepezés célja, hogy jelentős mértékben javuljon a kút IPR tulajdonsága. A repesztés sikeressége jelentősen függ a kitámasztott repedések konduktivitásától, ami a látszólagos permeabilitás és a repedés vastagság szorzata. A „proppant pack” deformációja és a kőzetbe történő beágyazódása egyértelműen hatással van a repesztett kút produktivitására. A precíz vizsgálat érdekében, egy analitikus modell került kiválasztásra, melynek előnye az empirikus összefüggésekkel szemben, hogy a megfelelő peremfeltételek mellett széles körben használható. Az analitikai modellre építve, a cikk egy új analízis rendszert mutat be, mellyel az adott tároló körülményekre a proppant kiválasztás optimalizálható.

Kulcsszavak: hidraulikus rétegrepezés, proppant beágyazódás, repedés konduktivitás

Abstract: The pay-off of the hydraulic fracturing treatment is significantly affected by the productivity index (PI) of the well. In this paper, more models and considerations were integrated to develop a new analysis system by which different sensitivity tests (with deep consequences) and a kind of technical optimization of proppant selection can be executed. Ignoring any costs or revenue (CAPEX, OPEX, NPV, etc.) calculations, the outcome of this paper provides a method for proppant selection considering not only the factors that influence fracture conductivity but another optimization method, the so-called Unified Fracture Design (UFD) model as well

Keywords: hydraulic fracturing, proppant embedment, fracture conductivity

1. BEVEZETÉS

A hidraulikus rétegrepezés célja, hogy stimulálva a kútkörnyéki zónát, a kút beáramlási tulajdonsága szignifikánsan megnövekedjen. Ehhez nagy konduktivitású kitámasztott repedésekre van szükség. A rétegrepezési művelet sikeressége nagymértékben függ a kitámasztott repedések konduktivitásától, amely a “proppant pack” látszólagos permeabilitásának illetve a repedés szélességének szorzata. A repesztett kút produktivitására egyértelműen hatással van a proppant, azaz kitámasztó anyag, illetve a kőzet fala közötti kölcsönhatás. A proppant szemcsék beágyazódnak a formációba, illetve a magas záródási nyomások miatt deformálódnak, ami összességében jelentős csökkenést eredményezhet a konduktivitást tekintve. A proppant mérete, a proppant és a formáció Young modulusza és Poisson tényezője, illetve a záródási nyomás, olyan tényezők, melyek befolyásolják a proppant beágyazódás, illetve ezen keresztül a repedés szélesség csökkenés mértékét, melyek együttesen hatással vannak a repedés konduktivitásának csökkenésére, ami jelentősen redukálhatja a termelő kút produktivitását. Ez a hatás gyengén konszolidált formációkban még jelentősebb lehet, ezért elengedhetetlen hogy megfelelően vizsgáljuk és megértsük a proppant beágyazódás elméleti hátterét.

A jelenség vizsgálatának egyik legszofisztikáltabb módja, a statikus erőegyensúlyi állapot analízise. Az analitikus analízis egyik legfőbb előnye az empirikus kísérletekkel szemben, hogy a peremfeltételeknek megfelelően, a gyakorlatban is előforduló, széles tartományban használható. Az empirikus modellek talán pontosabban szimulálják a valóságot, ugyanakkor ezek a modellek csak abban a szűk tartományban használhatók, amelyben származtatták azokat. Ezen kívül, az empirikus összefüggések gyakran tartalmaznak különböző illesztési együtthatókat, melyeket csak kísérleti úton lehet meghatározni (paraméteres egyenletek). A kísérleti út, főként magokon végzett méréseket jelent, melyekhez sokszor bonyolult mérési rendszerek és speciális berendezések szükségesek. Mindent egybevetve, az analitikus modellre épült analízis rendszer széles tartományban használható, nem beszélve arról az esetről, hogy ha kísérleti adatok elérhetők, akkor az analitikus egyenlet ezekhez szintűgy illeszthető.

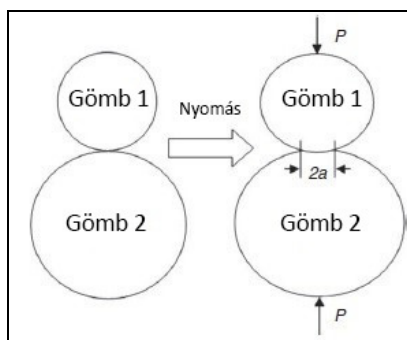
1.1. A kutatás célja

Az iparban a vállalatok, és legfőképp a projektmenedzserek, főként a projekt megtérülésében érdekeltek. A hidraulikus rétegrepszési művelet megtérülése jelentős mértékben függ a kút megnövelt produktivitásától. A kutatómunka során, több modell és megfontolás integrációjaként egy új analízis rendszer került kifejlesztésre, melynek segítségével különböző érzékenységi vizsgálatok végezhetőek el, illetve a proppant kiválasztásának egyfajta technikai optimalizációja is kivitelezhető.

A kutatás eredményeként egy új módszer érhető el a proppant kiválasztására, mely integrálja a proppant beágyazódás jelenségét vizsgáló modellt és a „Unified Fracture Design” (UFD, Economides és társai 2002) optimalizációs modellt. Gyakorlati szempontból, az analízis rendszer lehetővé teszi a megfelelő kitémasztó anyag (méret, elasztikus modulusz, fajsúly), illetve a proppant koncentráció szerinti mennyiség meghatározását, amely ahhoz szükséges, hogy az előzetesen meghatározott (nettó jelenérték számítások illetve rezervoár mérnöki megfontolások alapján) produktivitási indexet elérjük a repesztési művelet során. Ezen kívül, az analitikus modell által számított konduktivitás értékek összehasonlíthatók a proppant gyártó cégek adataival, egy alternatív lehetőséget kínálva ezáltal a konduktivitás értékek meghatározására.

2. ELMÉLETI HÁTTÉR

A Li' és társai (2015) által kifejlesztett analitikus modell elméleti úton közelíti a proppant beágyazódás jelenségét. Fontos megjegyezni, hogy a modell származtatása kapcsán bevezetett feltételezések bizonyos korlátokat jelentenek. A feszültség-alakváltozás analízis során csak deformáció illetve beágyazódás feltételezett, azaz a modell nem számol a proppant tönkremenetelével. Ez azt jelenti, hogy az egyenletek csak olyan feszültségi tartományban használhatók, amely még nem okozza a kitémasztó anyag tönkremenetelét (*proppant crush*).



1. ábra: Elasztikus gömbök alakváltozása (Li 2015)

A modell származtatása a Wu és társai által publikált (2001), két érintkező gömb feszültség-alakváltozás egyenletével kezdődik, mely az 1. ábrán látható. Gömb 1 és 2 a terhelésnek megfelelően deformálódik. A gömbök érintkezési felülete egy kör, melynek sugara (α) a következő összefüggéssel számítható:

$$\alpha = \left(\frac{3}{4} P C_E \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (1)$$

ahol α a kör sugara (mm); P a gömbökre ható külső erő (N); R_1 az 1-es gömb rádiusza (mm); R_2 a 2-es gömb rádiusza (mm). C_E (in MPa^{-1}) pedig a következőképp definiálható:

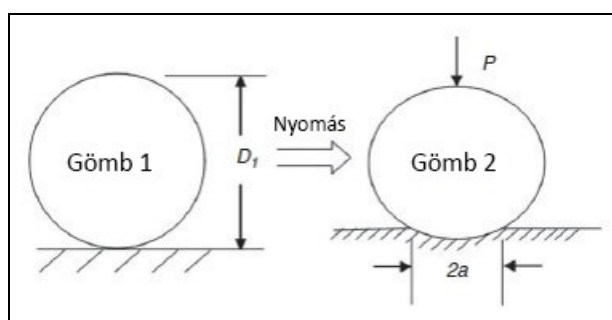
$$C_E = \frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2}, \quad (2)$$

ahol ν_1 az 1-es gömb Poisson tényezője (dimenzió nélküli); ν_2 a 2-es gömb Poisson tényezője (dimenzió nélküli); E_1 az 1-es gömb Young modulusza (MPa); és E_2 a 2-es gömb Young modulusza (MPa).

Wu és társai (2001) bebizonyították, hogy a gömbök középpontjai között távolság változása a következő összefüggéssel írható le:

$$\alpha' = \frac{\frac{3}{4} P C_E}{\left(\frac{3}{4} P C_E \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right)^{\frac{1}{3}}}, \quad (3)$$

ahol α' a gömbök középpontjai között távolság változása (mm). Ha $R_2 \rightarrow \infty$, akkor a 2-es gömb felülete síklappá transzformálódik, így a két objektum egy gömb és egy síklap. A 2. ábra demonstrálja a gömb és a síklap közti kölcsönhatást. Megfigyelhető, hogy α' -re két tényező van hatással: az 1-es gömb sugarának változása, ami a *deformáció*, illetve a *beágyazódás*.



2. ábra: Gömb és felület közötti kölcsönhatás (Li 2015)

A 2. ábrán látható szituációra a következő módosított összefüggés vezethető le a 3. egyenlet alapján:

$$\alpha' = \frac{2 \left(\frac{3}{8} P C_E D_1 \right)^{\frac{2}{3}}}{D_1}, \quad (4)$$

ahol D_1 az 1-es gömb átmérője (mm). Ennél a pontnál a 4. egyenlet két tényezőt tartalmaz, egyrészt a gömb deformációját, másrészt a gömb "síklapba" való beágyazódását. Ahhoz, hogy megkapjuk az egyenletet, amely leírja a gömb deformációját, a 4. egyenlet másik befolyásoló tényezőjének (a beágyazódást) szeparációja szükséges. Ehhez feltételezzük azt, hogy a síklap elasztikus tényezője végtelen, tehát a gömb nem ágyazódik be a síklapba. Ebben az esetben α' csak a deformáció hatását tartalmazza. Így a gömb deformációja a következő összefüggéssel fejezhető ki:

$$\beta = \frac{2\left(\frac{3}{8}PD_1\frac{1-\nu_1^2}{E_1}\right)^{\frac{2}{3}}}{D_1} \quad (5)$$

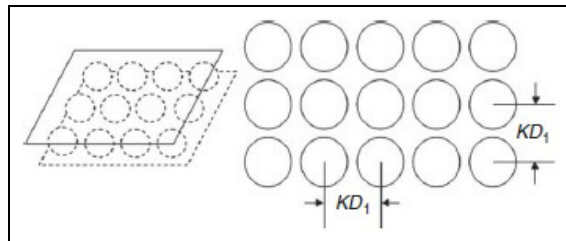
Az 5. egyenlet alapján megállapítható, hogy a deformációt csak a gömbre ható külső erő; a gömb átmérője, elasztikus és Poisson tényezője befolyásolja. Mivel α' a deformáció és beágyazódás összege, ezért kombinálva a 4. és 5. egyenletet, a gömb síklapba való beágyazódása a következő összefüggéssel számítható:

$$h = \alpha' - \beta = \frac{2\left(\frac{3}{8}PD_1\right)^{\frac{2}{3}}}{D_1} \left[\left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right)^{\frac{2}{3}} - \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} \right)^{\frac{2}{3}} \right] \quad (6)$$

ahol h a beágyazódás mértéke (mm).

2.1. Valódi Szituáció

Ahhoz, hogy közelítsük a repedés valódi viselkedését, a proppant szemcsék két síklapközötti helyzetét kell megvizsgálni. A repedésben elhelyezkedő proppant szemcsék súlya elhanyagolható, így azt az analitikus modellt (Li' és társai 2015) nem veszi figyelembe, így azt feltételezi, hogy a proppantokra eső feszültségek illetve az alsó és felső sík és gömbök érintkezési felülete ugyanaz. Ezen kívül egyenletes proppant eloszlás feltételezett.



3. ábra: Proppant elhelyezkedés két síklap között (Li 2015)

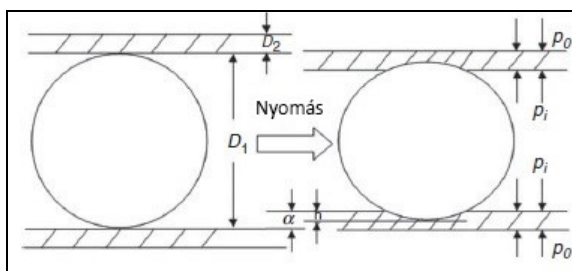
A 4. ábrán megfigyelhető egyetlen proppant stressz analízise. Ha összehasonlítjuk a 2. és 4. ábrát, megfigyelhető, hogy míg a 2. ábrán a terhelés mértékegysége N, addig a 4. ábrán a feszültség mértékegysége MPa. A feszültség, illetve az érintkező határfelületekre ható terhelés közötti összefüggés a következő:

$$P = p(KD_1)^2 \quad (7)$$

ahol P az érintkező határfelületekre ható terhelés (N), p a záródási nyomás (MPa), K a távolság koefficiens (dimenzió nélküli); és D_1 a proppant átmérője (mm). Ezen felül, a záródási nyomásra felírható a következő összefüggés:

$$p = p_0 - p_t \quad (8)$$

ahol p_0 a formáció nyomás (MPa); és p_i a repesztő fluidum nyomása (MPa). Fontos megjegyezni, hogy ha $p_0 < p_i$, ami a repesztési művelet során fordul elő (a repesztő fluidum nyomása meghaladja a formáció in-situ feszültségét, így repedés keletkezik), nincs proppant deformáció és beágyazódás sem. Ha $p_0 > p_i$, ami a repesztési művelet után beállt nyomásviszonyokra jellemző (a nagy nyomású szivattyúk kikapcsolása után nincs további többletnyomás, ami fenntartaná a repedéseket, a repesztő fluidum tehát kiszűrődik, így a fluidum nyomása csökken), a proppantok deformálódnak illetve beágyazódnak. A továbbiakban levezetett egyenletek csak akkor értelmezhetők ha $p_0 > p_i$.



4. ábra: Egyetlen proppant stressz analízise (Li 2015)

A formáció vastagsága D_2 -vel jelölt. A záródási nyomás hatására a formáció deformálódik ami Hooke törvénye szerint a következőképp számítható:

$$\Delta D_2 = D_2 \frac{p}{E_2}, \quad (9)$$

ahol D_2 a formáció vastagság (mm); és ΔD_2 a réteg deformációja (mm), ami gyakorlatilag a proppant beágyazódás mértékét mutatja. Behelyettesítve a 7. és 9. egyenletet a 4. egyenletbe a következő összefüggés áll fenn:

$$\alpha = 1.04 D_1 (K^2 p C_E)^{\frac{2}{3}} + D_2 \frac{p}{E_2}, \quad (10)$$

ahol α a repedés szélesség változását jelenti (mm). Fontos megjegyezni, hogy az α értéke valójában a repedés szélesség változás *felét* jelenti, de az egyszerűség kedvéért a következőkben szimplán repedés szélesség változásként hivatkozom rá. Folytatva a behelyettesítést (a 7. egyenletet az 5. egyenletbe, míg a 7. és 9. egyenletet a 6. egyenletbe) a következő összefüggéseket kapjuk:

$$\beta = 1.04 D_1 (K^2 p \frac{1-\nu_1^2}{E_1})^{\frac{2}{3}}, \quad (11)$$

$$h = 1.04 D_1 (K^2 p)^{\frac{2}{3}} \left[\left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right)^{\frac{2}{3}} - \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} \right)^{\frac{2}{3}} \right] + D_2 \frac{p}{E_2}, \quad (12)$$

ahol β a proppant deformáció (mm); h a proppant beágyazódás (mm); E_1 a proppant elasztikus modulusza (MPa); és E_2 a formáció elasztikus modulusza (MPa).

2.2 Multilayer Pattern

Az eddigiekben a proppant deformáció és beágyazódás úgy nevezett “single-layer pattern”, azaz egyetlen proppant réteg esetében volt értelmezve. A gyakorlatban “single-layer pattern”

helyett “multilayer pattern”-eket alakítanak ki, ami annyit tesz, hogy több proppant réteg helyezkedik el egymáson. Így tehát elengedhetetlen, hogy ne csak a formáció és a kitámasztó anyag közötti, de a proppantok között fellépő kölcsönhatásokat is vizsgáljuk.

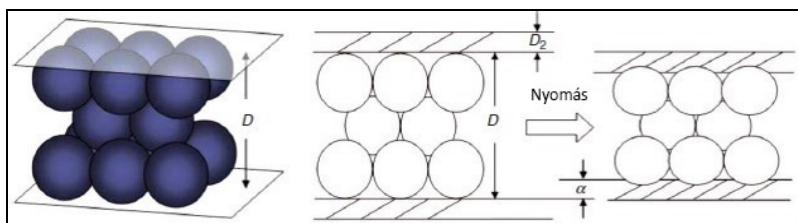
A cikk terjedelmi korlátai miatt, a további levezetések nem részletezettek. A proppantok közötti kölcsönhatások (deformáció és beágyazódás) vizsgálatánál, egységes proppant tulajdonságok feltételezettek, azaz a proppant szemcsék mérete, illetve elasztikus tulajdonságuk megegyezik. Ezek alapján a következő egyenletek állapíthatók meg “multilayer pattern” esetében:

$$\alpha = 1.04D(K^2p)^{\frac{2}{3}} \left\{ \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} \right)^{\frac{2}{3}} + \frac{D_1}{D} \left[\left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right)^{\frac{2}{3}} - \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} \right)^{\frac{2}{3}} \right] \right\} + D_2 \frac{p}{E_2}, \quad (13)$$

$$\beta = 1.04D(K^2p)^{\frac{2}{3}} \frac{1-\nu_1^2}{E_1}, \quad (14)$$

$$h = 1.04D_1(K^2p)^{\frac{2}{3}} \left[\left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right)^{\frac{2}{3}} - \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} \right)^{\frac{2}{3}} \right] + D_2 \frac{p}{E_2}, \quad (15)$$

ahol D a kezdeti repedés szélesség (mm), ahogy azt az 5. ábra mutatja, α a repedés szélesség változása “multilayer pattern” esetében (mm); β a “multilayer pattern” deformációja (mm); és h a proppant beágyazódás mértéke (mm) “multilayer pattern” esetén, ami megegyezik a “single-layer pattern” esettel, hisz csak az alsó és felső proppant réteg érintkezik a formációval.



5. ábra: „Multilayer pattern” a repedésben (Li 2015)

3. REPEDÉS KONDUKTIVITÁS

3.1. Származtatás

A repedés konduktivitás a repedés átteresztőképességének és szélességének szorzata. A kitámasztott repedés permeabilitása arányos a “proppant pack” porozitásával, a pórus torok sugarával és az ún. pórus tekervényességével (tortuosity). Ezeket a paramétereket az előzőekben vizsgált beágyazódás, deformáció, illetve ezek összege a repedés szélesség változása befolyásolja.

Yang és Wei (2004) levezettek egy általánosan elfogadott egyenletet a permeabilitás meghatározására, mely a következőképp alakul:

$$k = \frac{\Phi r^2}{8\tau^2}, \quad (16)$$

ahol k a permeabilitás (μm^2 , ami 1 Darcy); Φ a porozitás (dimenzió nélküli); r a pórus torok sugara (μm); és τ a pórus tekervényessége (dimenzió nélküli). A 7. ábrán prezentált “proppant

pack” esetében a porozitás, a pórus torok sugár és a pórus tekervényesség matematikai úton könnyedén meghatározható zéró záródási nyomás esetén. Az egyenletek a következők:

$$\phi_0 = \frac{4\sqrt{2}R_1^3 - \frac{4}{3}\pi R_1^3}{4\sqrt{2}R_1^3} = 0,25951 \quad , \quad (17)$$

$$r_0 = 1000 \frac{2\sqrt{3}-3}{3} R_1 \quad , \quad (18)$$

$$\tau_0 = \frac{\sqrt{\left(\frac{2}{3}R_1\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{2}}{3}R_1\right)^2}}{\frac{2}{3}R_1} = \frac{\sqrt{6}}{2} \quad , \quad (19)$$

ahol a nullával indexelt tagok zéró záródási nyomásra érvényesek. Ha a záródási nyomás nagyobb, mint nulla, az egyes egyenletek a következőképp alakulnak (Li' és társai 2015):

$$\phi = \frac{D\phi_0 - 2\beta}{D - 2\beta} \quad , \quad (20)$$

$$r = \left(\frac{D-2\beta}{D}\right) r_0 \quad , \quad (21)$$

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{D-2\beta}{D}\right)^2 (\tau_0^2 - 1) + 1} \quad , \quad (22)$$

A repedés konduktivitás definíciója alapján, kombinálva a 16., 20., 21. és 22. egyenleteket a következő egyenlet áll elő:

$$F_{CD} = kw = \frac{(D\phi_0 - 2\beta)(D - 2\beta)r_0^2}{80 \left[\left(\frac{D-2\beta}{D}\right)^2 (\tau_0^2 - 1) + 1 \right] D^2} (D - 2\alpha) \quad , \quad (23)$$

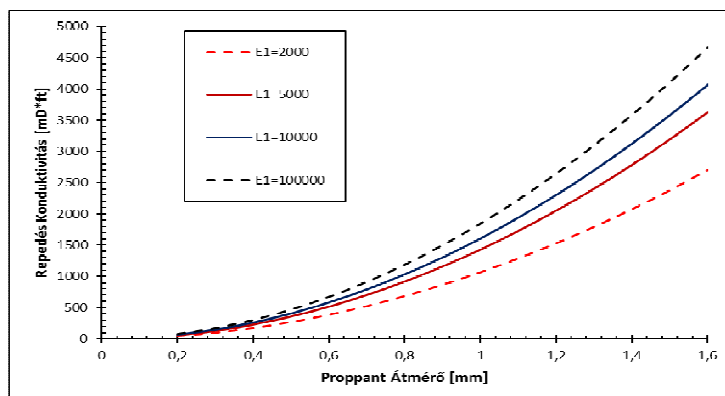
ahol F_{CD} a repedés konduktivitás ($\mu\text{m} \cdot \text{cm}$); w a repedés szélesség nem-zéró záródási nyomás esetén (cm); és α a repedés szélesség változás fele a 13. egyenlet alapján (mm).

4. EREDMÉNYEK

A következőkben a legfontosabb érzékenységi vizsgálatok eredményei lesznek bemutatva, elemezve ezeket fontos következtetések állapíthatók meg.

4.1. A proppant méret és a záródási nyomás

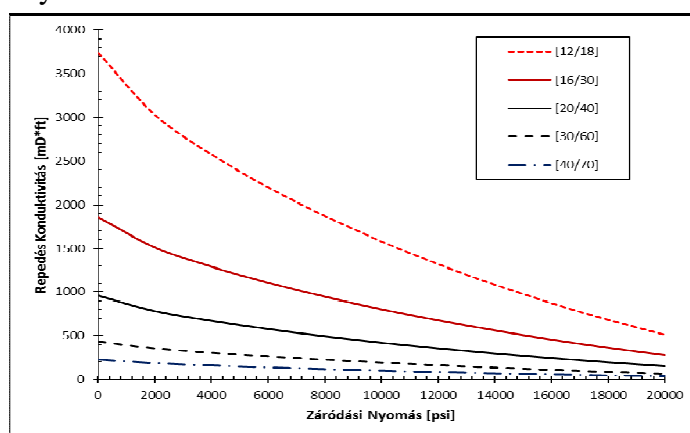
A következő érzékenységi vizsgálatok paraméterei az alábbiakban meghatározottak: $v_1=v_2=0.2$, $E_2= 2000$ MPa, $D= 5\text{mm}$, $D_2=20$ mm, $p=20$ MPa, míg E_1 2000 és 100000 MPa között, és a proppant átmérő 0,3 és 1,6 mm között változik.



6. ábra: Repedés konduktivitás a proppant átmérő és Young m. függvényében

A 6. ábrán szemléltetett eredmények a várakozásoknak megfelelőek. Minnél nagyobb és keményebb a proppant, annál nagyobb repedés konduktivitás értékek érhetőek el.

A 7. ábra, a másik legfontosabb paraméter, a záródási nyomások függvényében ábrázolja a repedés konduktivitás értékeit. Megfigyelhető, hogy minnél nagyobbak ezek a nyomások (minnél mélyebben van a tároló), annál kisebb repedés konduktivitás értékek érhetőek el ugyanazokra a körülményekre.

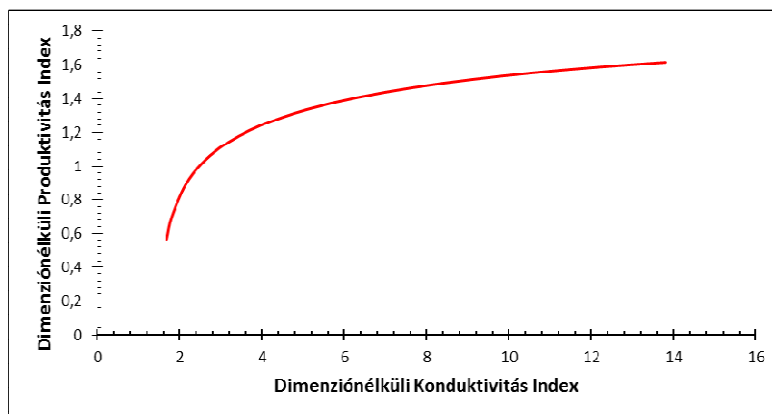


7. ábra: Repedés konduktivitás a záródási nyomás függvényében

4.2. A proppant kiválasztás optimalizációja

Az analitikus és az UFD (Economides és társai 2002) modell, továbbá más matematikai megfontolások kombinációjaként a proppant kiválasztás optimalizálható. Az eljárás lényege, hogy az előre meghatározott (NPV számítások és rezervoármérnöki megfontolások) produktívítási indexekhez (PI) az UFD modell alapján számítható egy-egy konduktivitás érték, mely ahhoz szükséges, hogy elérjük az előre definiált PI-t. Az így kapott konduktivitás értéket összehasonlítva az analitikus modellel számított értékkel megállapítható, hogy az analitikus modellbe input paraméterként megadott proppant megfelelő vagy sem. Ha nem, az eljárást meg kell ismételni egy másik proppant típusra.

A 8. ábra leegyszerűsítve mutatja be az UFD modell működését. Megfigyelhető, hogy minden dimenzió nélküli PI-hez tartozik egy dimenzió nélküli F_{CD} .



8. ábra: Dimenzió nélküli PI a dimenzió nélküli konduktivitás függvényében

5. KONKLÚZIÓ

A cikkben bemutatott analitikus modell képes a proppant beágyazódás, deformáció, illetve ezek összegének, a repedés szélesség változás meghatározására. Végző eredményként pedig a repedés konduktivitás is számítható. A modell csak matematikai és fizikai megfontolásokon alapszik, így a peremfeltételeknek megfelelően széles tartományban használható.

Az analitikus modell segítségével számos érzékenységi teszt is elvégezhető. A cikkben bemutatott eredmények elsősorban a záródási nyomás, a proppant átmérő, illetve a proppant elasztikus modulusának, a konduktivitásra kifejtett hatását mutatták be.

Kombinálva az analitikus modellt az UFD modellel, a kút produktivitását tekintve a proppant kiválasztás optimalizálható.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **ECONOMIDES, M.J., OLIGNEY, R.E., AND VALKO, P.P.:** *Unified Fracture Design*. Orsa Press, Houston. USA. 2002a
- [2] **LENGYEL, T.:** *Investigation of Parameters Influencing Fracture Conductivity Including Proppant Pack Properties and Rock Mechanical Characteristics*. Scientific Students' Associations Conference, Faculty of Earth Science and Engineering, University of Miskolc, Miskolc. 2016
- [3] **LI, K., GAO, Y., LYU, Y., WANG M.:** *New Mathematical Models for Calculating Proppant Embedment and Fracture Conductivity*. SPE-155954-PA. 2015
- [4] **WU, J.K., WANG, M.Z., AND WANG, W.:** *Elastic Mechanics Introduction*. Recension of First edition, Beijing: Peking University Press. Chinese. 200-203. 2001
- [5] **YANG, S.L. AND WEI, J.Z.:** *Reservoir Physics*. First edition, Beijing: Petroleum Industry Press. Chinese. 136-159. 2004