

MIKOVINY SÁMUEL FÖLDTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

**A doktori iskola vezetője:
Prof. Dr. Dobróka Mihály**

**A BÉLÉSCSŐVEL TÖRTÉNŐ FÚRÁS VISZONYAI
KÖZÖTT ALKALMAZOTT ISZAPOK
KISZŰRŐDÉSI TULAJDONSÁGAINAK
VIZSGÁLATA**

Doktori értekezés tézisei
PhD fokozat elnyeréséhez

Kutatóhely:
Miskolci Egyetem
Műszaki Földtudományi Kar
Olajmérnöki Tanszék
&
Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet

Tudományos vezető:
Dr. habil. Szepesi József

dr. Kovácsné Federer Gabriella
okl. olajmérnök

2013.

Tartalomjegyzék

1.	TUDOMÁNYOS ELŐZMÉNYEK ÉS AZ ÉRTEKEZÉS CÉLKITŰZÉSEI.....	3
	Az értekezés célkitűzései.....	4
2.	A LABORATÓRIUMI KÍSÉRLETEK RÖVID LEÍRÁSA	5
	A Eset:	5
	B Eset:	6
3.	TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK, TÉZISEK	6
4.	A TÉMAKÖRBE KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓK.....	22

1. TUDOMÁNYOS ELŐZMÉNYEK ÉS AZ ÉRTEKEZÉS CÉLKITŰZÉSEI

A nemzetközi irodalom a kilencvenes évek második felétől kezdődően foglalkozik a beléscsővel végzett fúrás bemutatásával. Az elmúlt öt évben a Mobil és az Amoco társaságok kezdték alkalmazni a beléscsővel való fúrást, előnyöket láttak a technika alkalmazásában elsősorban az átmeneti zónák és a kisnyomású tárolók harántolásakor, betétcsövek elhelyezése esetén.

Jelenleg a beléscsővel végzett fúrási technika rohamosan terjed. Az alkalmazást kiterjesztették a felszíni biztonsági beléscső rakatok elhelyezésére is, továbbá irányított ferde és vízszintes kutak mélyítésére is alkalmazták. Az új fúrási technika gépi berendezéseinek fejlesztésében a TESCO társaság ért el eredményeket.

A beléscsővel való fúrás egy merőben új technológia mely lehetővé teszi, hogy a fúrólukat egyszerre fúrják, beléscsővezzék és szelvényezzék. A fúrást kétféle módszerrel végezhetik, az egyik, amikor a beléscsővet forgatják és azt a fúrócső helyett is használják, a másik, amikor a kút mélyítéséhez talpi fúrómotort alkalmaznak bővítő fúróval.

Az egyenértékű öblítési sűrűség (ECD) meghatározása és a nagyobb ECD hatása beléscső befúrásnál lényeges kérdés, az értekezés ezért foglalkozik e területen végzett kutatással. Öblítés közben a lyuktalpi nyomás, a hidrosztatikus nyomás és a gyűrűstéri nyomásveszteség összege. Ez más néven a dinamikus nyomás.

A beléscsővel való fúrás alkalmazásával alapvetően megváltoztak a hagyományos fúrás geometriai viszonyai. A lyuk és a cső átmérőjének aránya közelít az egyhez. A beléscső átmérője nagy ezért a belső nyomásveszteség viszonylag kicsi. Mindazonáltal a gyűrűstér korlátozottabb áramlást tesz lehetővé ez által nagyobb gyűrűstéri nyomásveszteséget eredményezve.

A kúttalpi nyomás ismerete nagyon fontos a fúrási műveleteknél. A legtöbb beléscső befúrásnál az ECD még kisebb öblítési ütem esetén is nagyobb, mint hagyományos esetben.

Az öblítés legfontosabb kérdése hogy az iszap képes-e a furadékot a felszínre szállítani; ennek érdekében a megfelelő fúróiszap kiválasztása jelentős. Alapvető követelmény, hogy a formáció képes legyen károsodás nélkül elviselni a folyadékoszlop hidrosztatikus nyomását; ha ez nem teljesül formációsérülés, sőt iszapveszteség lép föl.

Mikor a formáció nagy hőmérsékletű az iszap adalékokat körültekintően választják, de ilyen esetben is nagyon fontos hogy az iszapparamétereket pontosan az adott körülményekre állítsák be. Az iszap paramétereket, mint sűrűség, viszkozitás és furadék kiszállítási hatékonyság, a nagy hőmérséklet mind befolyásolja.

A művelet sikerének az érdekében a kúttal kapcsolatos összes jellemzőt figyelembe kell venni. A kút mélysége meghatározza a szükséges beléscső méretét, a beléscső mérete befolyással bír a gyűrűstéri áramlási sebességre és ez által az öblítő folyadékválasztásra is. Számításokkal könnyen eldönthető mekkora legyen és milyen típusú az adott beléscső. Amennyiben a választott átmérő nagy, csökken a fajlagos gyűrűstéri térfogat mely azonos öblítési ütemnél is nagyobb áramlási sebességet eredményez.

Az értekezés célkitűzései

A lehetséges szénhidrogén tárolók feltárása érdekében az olajipar rákényszerül, hogy nagy mélységekben és összetett geológiai formációkban végezzen kutatást. Ennek az értekezésnek célja, hogy információt szolgáltatson a hidraulikáról és az iszapválasztás fontosságáról olyan esetekhez, mikor szokatlan mélységekben és réteg struktúrákban fúrunk, de legfőképpen a nagy hőmérsékletű és nyomású (HTHP) feltételekhez.

Minden körültekintés és alapos geo-technikai tervezés ellenére is felmerülhetnek váratlan problémák, mely nem-hagyományos módszerek alkalmazását teheti szükségessé annak érdekében, hogy egy kút produktív legyen. A beléscső befúrás alkalmazása mélyebb és ferde kutak fúrásánál is hatékony eljárás, de kihívást jelentő tervezést igényel a speciális kút geometria és ez által a szokatlan kút hidraulika miatt.

Egy HTHP beléscső befúrás öblítésének tervezése bonyolult, mert a különleges méretek és a hőmérséklet miatt a hagyományos számítások esetleg nem pontosak. Céлом, hogy a nagy hőmérsékleten kialakuló ECD számítására pontosabb módszert határozzak meg, amely nemcsak beléscső befúrásnál, hanem hagyományos fúrás esetén is hasznos lehet.

Szintén céлом a méréseim bemutatása, melyekkel szemléltetem, a nagyobb gyűrűstéri nyomásvesztés miatt kialakuló nagyobb ECD által a rétegre ható nagyobb nyomás és a nagy hőmérséklet következtében keletkező átteresztőképesség csökkenés mértékét és

bizonyítom, hogy megfelelő fűróiszappal a károsodás mértéke még igen nagy hőmérsékleten is minimalizálható.

Célom egy komplex összefüggés megalkotása mely figyelembe veszi a hőmérsékletet egy új művelet tervezésénél. Az öblítési művelet optimalizálása és a veszteségek, beáramlások és réteg károsítás minimalizálása érdekében ez nagy jelentőséggel bír. Kutatásom rávilágít arra a tényre mely szerint megfelelő fűrási módszer és előrelátóan tervezett öblítő folyadék alkalmazásával a termelő rétegek károsodása csökkenthető, és hogy a hőmérséklet is olyan paraméter melyet célszerű minden esetben figyelembe venni. Munkám hasznos további kutatásokhoz. A nagy hőmérsékleten kialakuló áteresztőképesség csökkenés átfogóbb ismerete előnyös a tároló jellemzőinek pontos számításához és a termelés előrejelzéshez.

2. A LABORATÓRIUMI KÍSÉRLETEK RÖVID LEÍRÁSA

A fejlődő fűróiszap technológia követi az ipar igényeit, a legfontosabb szempont azonban a rétegekárosítás csökkentése és ennek érdekében mindig a legalkalmasabb öblítő folyadék használata. Ez a kérdés még fontosabb amennyiben a kútban várható hőmérséklet nagy és/vagy a geometriai viszonyok változnak a megszokotthoz képest, mint például beléscsővel való fűrásnál. Ezt a választást öblítő folyadékok sztatikus és dinamikus kiszűrődésének különböző hőmérsékleten való vizsgálatával igyekszem megkönnyíteni.

A laboratóriumi vizsgálataimat az OFITE Dynamic HTHP (#170-50-1) nagy hőmérsékletű, nagy nyomású iszappréssel végeztem. A normálméretű szűrő korong helyett egy különleges magtartót terveztem, amely alkalmas arra, hogy a korongnál nagyobb térfogatú, valódi homokköveken végezzem a kiszűrődés vizsgálatot. A homokkő magminták geometriai és köztetfizikai paramétereit az elszennyezésük előtt mértem és feljegyeztem. A méréseimet két nagyobb csoportra lehet osztani melyeket az alábbiakban ismertetek.

A Eset Kiszűrődési teszt nagy áteresztőképességű magmintákon:

Itt minden teszttemhez azonos Ca bázisú/HT/Polimer 1. típusú iszapot használtam. Ezeket a vizsgálatokat különböző hőmérsékleteken, de azonos nyomáskülönbséggel (500 psi≈35 bar) és a dinamikus eseteknél azonos fordulatszámot (300 fordulat/perc) alkalmazva végeztem. Annak érdekében választottam mind sztatikus

mind dinamikus esetben azonos mérési paramétereket, hogy a hőmérsékleti hatásra vonatkozóan a legpontosabb mérési eredményeket kapjam. A magminták hasonlóságára is ügyeltem az egyes mérések során, így a permeabilitásuk mind 400 mD és 800 mD közé esik a porozitásuk pedig közel 30 %-os.

B Eset Kiszűrődési teszt kis átteresztőképességű magmintákon:

A jobb összehasonlíthatóság érdekében minden kísérlethez egy különlegesen, a magok pórusméret eloszlását figyelembe véve, tervezett iszapmintát (Ca bázisú/HT/Polimer 2./a.,b.,c.) használtam. A teszteket ugyanazon a relatíve nagy hőmérsékleten (~180°C), azonos nyomáskülönbséggel (500 psi≈35 bar) és a dinamikus eseteknél azonos fordulatszámot (300 fordulat/perc) alkalmazva végeztem. Az azonosnak választott paraméterek lehetővé teszik, hogy az egy bizonyos tulajdonságra irányuló kutatás a lehető legpontosabb eredményeket mutassa. A magminták hasonlóságára is ügyeltem az egyes mérések során, így a permeabilitásuk mind 6 mD és 12 mD közé esik.

A differenciális nyomást azért választottam 500 psi értéknek, mert egy átlagos fúrési művelet során, a lyuktalpon a réteget túlellensúlyozó nyomástöbblet körülbelül legalább 200 psi, beléscső befúrás esetén a különleges geometriai viszonyok miatt a formációra ható nyomás ezt meghaladó érték.

3. TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK, TÉZISEK

Az öblítő folyadék a fúrési műveletek kulcsfontosságú eleme. A vizes közegű fúrési folyadékokat általában agyagásvány és egyéb adalékanyagok felhasználásával készítik, amelyekkel a kívánt, illetve előírt paraméterek elérhetők. A fúrési folyadék alapját képező víz lehet édesvíz, tengervíz vagy sósvíz. Elsősorban technológiai okai vannak annak, hogy vizsgálataimhoz sósvizet alkalmaztam.

Miközben az öblítő körön végighalad, a fúrési folyadéknak számos feladatot kell ellátnia. Bár az alkalmazott rendszerek a legtöbb esetben teljesítik technológiai funkciójukat, de kevés kivétellel a fúrési műveletek – a beléscsővel történő fúrési műveletek is – un. túlellensúlyozott módon történnek, s ennek következtében bizonyos mértékű rétegtkárosítás elkerülhetetlen. Mindazonáltal a tervezés

során nem szabad elfelejtenünk, hogy alapvető célunk a feltárt, produktív rétegek termeltetése, így különösen fontos, hogy a fűrés során - amennyire ez lehetséges - minimálisra csökkentsük a kitermelést befolyásoló károsító hatásokat. A béléscsővel történő különleges fűrészi technológiára fókuszálva kutatásom és a téziseim egyik legfontosabb célja e törekvés elősegítése.

- 1. Kifejlesztettem, alkalmaztam és verifikáltam egy un. HTHP dinamikus iszapprésre, a hozzá illeszthető, speciális kőzetminta befogóra és természetes kőzetminta alkalmazására épített, új laboratóriumi vizsgálati technikát. Ezzel a technikával a különböző fűrészi folyadékok szűrődési jellemzői sztatikus és/vagy dinamikus feltételek mellett, direkt és/vagy összehasonlító céllal, széles hőmérséklet-tartományban (25 – 230 °C) határozhatók meg, a fűrólyukbani viszonyokat leginkább szimuláló, így az elérhető legrealisztikusabb eredményeket biztosító módon. A vizsgálatokhoz alkalmazott kőzetminták folyadékos permeabilitás mérésére történő kiterjesztéssel lehetővé tettem továbbá a potenciális permeabilitás/réteg-károsító hatás és jellemzőinek megismerését, értékelését.**

A laboratóriumi méréseimet az OFITE Dynamic HTHP iszapprés segítségével végeztem. Ez a műszer eredetileg szűrőpapír és különböző pórusmérettel rendelkező szintetikus (kerámia) szűrő korongok befogására alkalmas.

Célom elérése érdekében, hogy a készülék alkalmas legyen valódi kőzet magokból vett dugók befogására egy belső magtartót



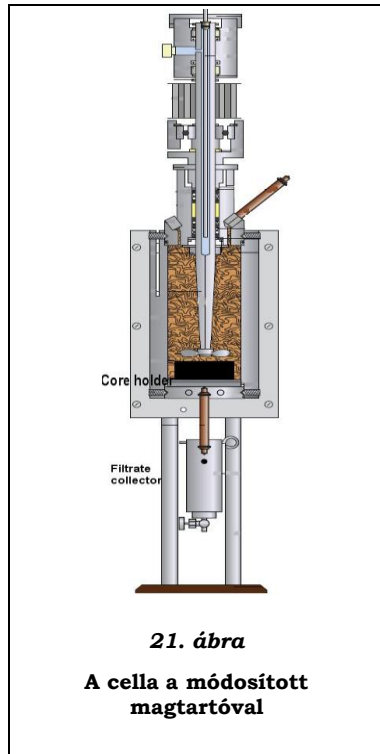
18. ábra
Speciális magtartó

alakítottam ki (18. ábra). Ez a magtartó alkalmas egy 3 cm átmérőjű és közel 3.5 cm hosszú kőzetminta befogására és így a műszer alkalmassá vált a valódi kőzetmintán végzett mérésekre. A különleges magtartó tartalmaz egy gumiköpenyt, amely a magmintát körülöleli azzal a céllal, hogy megakadályozza az iszapszűrlet palástoldalról történő beszivárgását. Ez a hatás ugyanis a mérési eredményeim pontosságát csökkentené.

A műszerben egy cella található (21. ábra) ennek az aljára kerül a magtartó a kőzetmintával. A cella alját egy szeleppel ellátott fedél zárja, mely szelepen át gyűjthető a filtrátum. A magminta fölé kerül a vizsgálni kívánt folyadék (esetemben fűró iszap) a megadott mennyiségben (az expanziót figyelembe véve). A cella tetejét egy olyan fedél zárja melyből egy keverő-propeller nyúlik a folyadékba. A

folyadékkeringtetés nemcsak a dinamikus kiszűrődés vizsgálatot teszi lehetővé, de megakadályozza, hogy sztatikus vizsgálatnál a fűtési idő alatt leülepedjen a szilárdanyag. A nyomást alulról és felülről lehet szabályozni a szükséges differenciális nyomás beállításához

nitrogénpalack segítségével. Az alul alkalmazott nyomást alapvetően a vizsgálati hőmérséklet határozza meg (az adott vizgőznyomást biztonságosan meghaladó érték). A fűtési periódusban a két oldalon egyenlő nyomást kell tartani megakadályozva ez által a nem megfelelő hőmérsékleten és időben elinduló kiszűrődést.



21. ábra

A cella a módosított magtartóval

A berendezés módosításával lehetővé tettem valódi kőzetmintákon történő kiszűrődés vizsgálatát, amely nagy jelentőséggel bír, hiszen a szűrőpapiros illetve kerámiakorongos vizsgálatok jó közelítést adnak, de kevésbé tükrözik a valódi folyamatokat. Ezen felül a kőzetminta jellemző pórusmérete és pórusméret eloszlása jól reprezentálja a tárolókőzet jellemzőit – szemben az előbbiekkal - valamint nagyobb hosszúságú, mint a már említett szűrő kerámia korong vastagsága. Ezért alkalmas a szilárd anyagok mélységbeli behatolásának a tanulmányozására is.

Az által, hogy a minta vizes áteresztőképességét megmértem a kiszűrődés vizsgálat előtt és után is lehetővé vált az áteresztőképesség csökkenésének mérése és a rétegtárolás megismerése.

2. Mérési eredményeim alapján megállapítottam, hogy a speciális fűrészi folyadékkal (Ca-bázisú/HT/Polimer-1. típus) kis-közepes hőmérsékleteken (25 – 120 °C) viszonylag nagy áteresztőképességű (400-800 mD) természetes kőzetmintákon, valamint nagy hőmérsékleten (180 °C) kis áteresztőképességű (6-12 mD) természetes kőzetmintákon mért, un. sztatikus és dinamikus folyadék-kiszűrődés mértéke sztatikus körülmények között konzekvensen nagyobb (1.3-4.7-szeres), mint dinamikus körülmények között, ellentétben az ebben a tárgykörben megjelent korábbi publikációk adataival.

Ezzel jól összhangba hozható az a további megállapításom, hogy dinamikus szűrődési körülmények között kialakuló permeabilitás csökkenés értéke nagyobb (3-75%-al), mint sztatikus esetben, illetve a kisebb filtrációs értékhez nagyobb permeabilitás csökkenés társul.

Bizonyítottam továbbá, hogy az új vizsgálati módszer jól alkalmazható a folyadékkiszűrődést gátló adalékanyagok kiválasztásában, s ebből következően a folyadék-összetétel optimalizálásban is.

A méréseket követően a kapott eredményeket analizáltam és grafikusán ábrázoltam. Az „A” teszt, 25°C, 60°C, 90°C, 120°C kapott eredményeivel és a „B” teszt 180°C-on kapott eredményeivel igazoltam azt az állítást mi szerint a nagyobb hőmérséklet nagyobb kiszűrődést eredményez, kivétel 120°C-on ahol az 1. típusú iszapnál egy kifejezetten erre a hőmérsékletre hozzáadott adalék hatása látható.

A sztatikus és dinamikus vizsgálatok során kapott kiszűrődési eredményeket az 5.a és b Táblázat tartalmazza részletesen.

Másrészről, az előbbiekből leírt hőmérsékleti hatás mellett azt tapasztaltam, hogy mindkét típusú iszap esetén a sztatikus kiszűrődés értéke nagyobb, mint a dinamikus. Ez az eredmény azt mutatja, hogy dinamikus esetben egy kevésbé permeábilis iszaplepleny képződik, mint sztatikus esetben (22.ábra). Ez ellentétes a korábbi szakirodalomban publikált – más típusú szűrőközegeken – mért eredményekkel.

Miután fűrási szemszögből nézve sikeresnek ítéltém a kiszűrődés vizsgálat eredményeit, rezervoármérnöki szemmel is megvizsgáltam. Ennél fogva visszamérem a szűrődési folyamatnak kitett kőzetek ellenirányú (return) sósvizes permeabilitását, s így a visszanyert permeabilitás mértéke:

$$k_{wr} = \frac{k_{wmudy}}{k_w} * 100 \tag{27}$$

A 27. Egyenlet szerint kapott eredmények, ahol k_{wmudy} a szennyezett minta sóoldatos permeabilitása, k_w a minta eredeti sóoldatos permeabilitása és k_{wr} a visszanyert permeabilitás százalékban kifejezve, meglepőnek bizonyultak. A korábbi szakirodalomban szereplő kerámia korongon kapott 40-70%-os visszanyert permeabilitáshoz képest az áteresztőképesség csökkentő hatás nagyobbtnak bizonyult. Valódi homokkövek esetén ilyen nagy hőmérsékleten az eredményeim 5-24%-os visszanyert permeabilitás eredményt hoztak dinamikus esetekben.

5.a Táblázat A szűrlet mennyisége”A” eset

Öblítőfolyadék típusa	T (°C)	30 perces kiszűrődés (ml)	
		sztatikus	dinamikus
Ca bázisú/HT/Polimer 1	25	84	65
Ca bázisú/HT/Polimer 1	60	111	38
Ca bázisú/HT/Polimer 1	90	184	68
Ca bázisú/HT/Polimer 1*	120	22	5

*-speciális kiszűrődésgátló adalékkal kezelve

5.b Táblázat A szűrlet mennyisége “B” eset

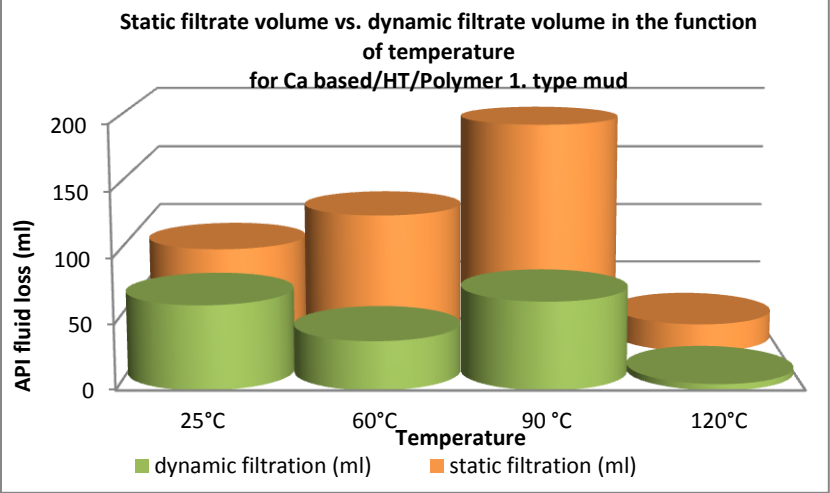
Öblítőfolyadék típusa	T (°C)	30 perces kiszűrődés (ml)	
		sztatikus	dinamikus
Ca base/HT/Polymer 2/a mud	180	240	180
Ca base/HT/Polymer 2/b mud	180	184	144
Ca base/HT/Polymer 2/c mud	180	376	130

11

Részletes eredményeimet a 6. Táblázat tartalmazza. Bár sztatikus folyadék-kiszűrődés esetében a visszanyert permeabilitás nagyobb lett, mint dinamikus folyadék-kiszűrődés esetén, mindazonáltal a hőmérséklet növekedésével mindkét esetben csökkenő tendenciát mutat. (27. ábra)

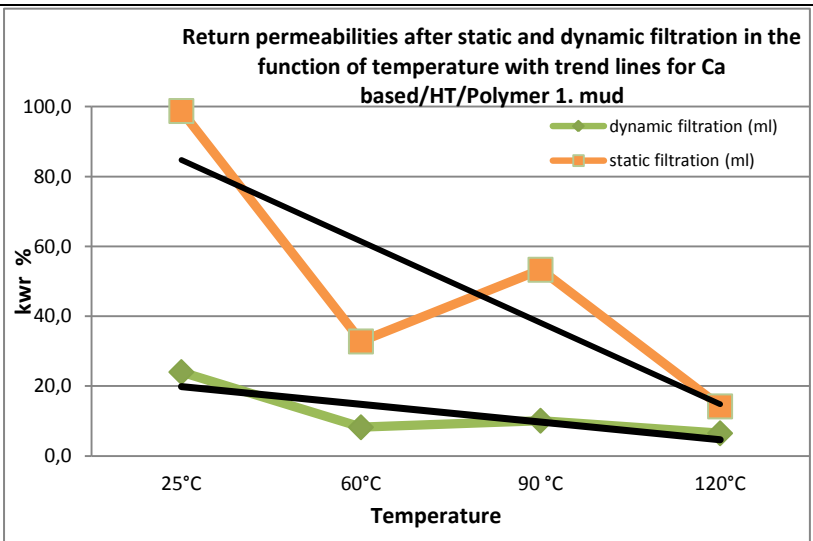
6. Táblázat Visszanyert permeabilitások

Iszap típus	T (°C)	k_{wr}	k_{wr}
		(sztatikus kiszűrődés után) (%)	(dinamikus kiszűrődés után) (%)
Ca bázisú/HT/Polimer 1.	25	99	24
	60	33	8
	90	53	10
	120	14	6



22.ábra

Sztatikus és dinamikus kiszűrődés összehasonlítása



27.ábra

3. Mérési eredményeim alapján – más összefüggésben – arra a következtetésre jutottam, hogy a 25 – 180 °C hőmérséklet tartományban, a folyadék-kiszűrődési folyamat hatására bekövetkező permeabilitás csökkenés mértékének függését a hőmérséklettől matematikailag az alábbi összefüggéssel

$$\kappa_{kwm/kw} = 1.89 \times T_b^{-1.68}$$

jól le tudom írni, s amely adott rendszerekre (Ca bázisú/HT/Polimer típusú iszapra 6-12 mD és 400-800 mD áteresztőképességű algyói homokköveken mérve) alkalmazható a nagy hőmérsékleten bekövetkező változások becslésére, előrejelzésére.

A Ca bázisú/HT/Polimer típusú iszapokkal végzett kiszűrődés és visszanyert permeabilitás vizsgálataim során; melyet mind algyói homokköveken végeztem; összefüggést találtam a permeabilitás változás és hőmérséklet között. Mivel az átfúrt tároló réteg permeabilitását a fűrészi gyakorlatban nem tudjuk a bekövetkezett szennyezés után meghatározni, egy ilyen egyenlet alkalmazása rendkívül hasznos lehet.

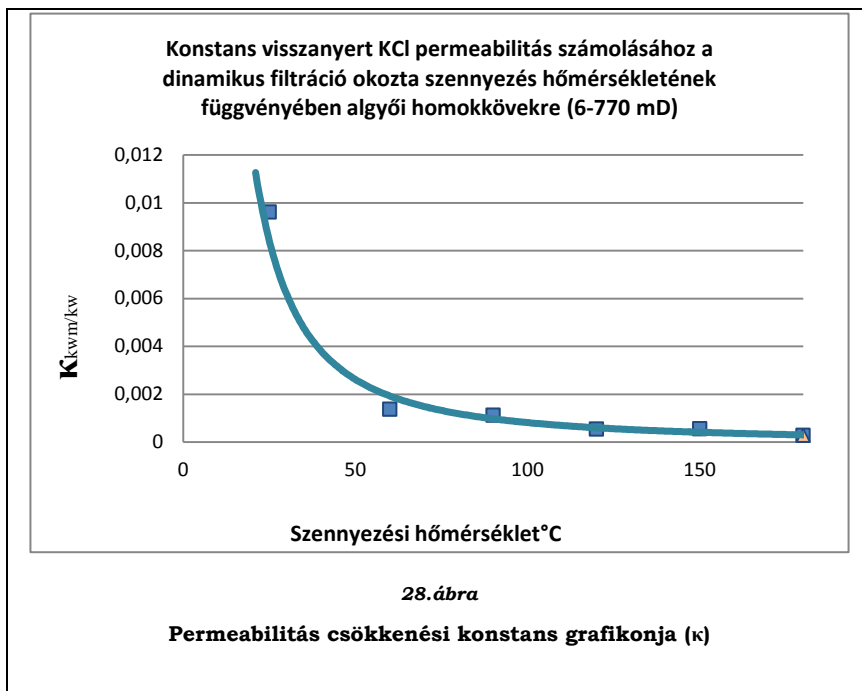
Ebből az elgondolásból kiindulva megvizsgáltam a szennyezés előtti és utáni permeabilitás eredményeket és megalkottam egy egyenletet mely alkalmas a „károsítás” utáni, csökkent áteresztőképesség számolására (de legalábbis közelítő becslésére), amennyiben ismerjük a réteg eredeti áteresztőképességét és a kúttalpi hőmérsékletet.

$$\frac{\kappa_{wmudy}}{\kappa_w} = \kappa_{kwm/kw} \tag{28}$$

Ahol κ_{wmudy} az 5% KCl oldattal mért ellenirányú (return) áteresztőképesség dinamikus kiszűrődés okozta szennyezés után, κ_w a közet eredeti áteresztőképessége és $\kappa_{kwm/kw}$ a permeabilitás csökkenési konstans.

A permeabilitás csökkenési konstans értéke pedig számolható a T_b lyuktalpi hőmérséklet ismeretében (Eq. 28a.) vagy leolvasható az általam megalkotott diagramról. (28. ábra)

$$\kappa_{kwm/kw} = 1.89 \times T_b^{-1.68} \tag{28a}$$



- 4. Mérésekkel igazoltam, hogy 180°C-os vizsgálati hőmérsékleten a speciális Ca-bázisú/HT/Polimer-2. típusú fúrási folyadékban alkalmazott sűrűsénövelő (hídképző) anyag, amely jelentősen megváltoztatta a szilárd fázis részecskeméret eloszlását a homokkő pórusméret eloszlásához viszonyítva, a permeabilitás csökkentő hatás mérséklését (4-11%-al) eredményezte a dinamikus folyadék-kiszűrődési vizsgálatok során.**

Az állítás miszerint nagyobb hőmérséklet nagyobb mennyiségű filtrációt eredményez, igaznak bizonyult a különböző összetételű hőtűrő iszapok esetén is. Azon állítás alapján miszerint nagyobb hőmérsékleten nagyobb a permeabilitás csökkenés, nyilvánvaló, hogy a legkisebb visszanyert áteresztőképesség értéket a 180°C-on történt kiszűrődés után mértem. Az előbbi tézisemben tett megállapításom, miszerint a nagyobb kiszűrődött folyadék mennyiség esetén jellemzően

nagyobb a visszanyert permeabilitás igaz és ezen megállapításom a módosított összetételű Ca-bázisú/HT/Polimer-2. típusú iszapra is igazolódott.

A B esetnek nevezett és a 7. fejezetben részletezett teszt végrehajtásával bizonyítottam, hogy a részecske méret eloszlás megváltoztatásával nagy hőmérsékleten is elérhető kielégítő mértékű folyadékkiszűrődés, amelyben a nagyobb szilárdanyag-tartalom és megváltoztatott részecskeméret-eloszlás játszik szerepet. Megállapítottam, hogy a közet pórusméretéhez viszonyított módosítással a kb. azonos mennyiségű szűrlet ellenére is nagyobb lett a visszanyert áteresztőképesség a Ca-bázisú/HT/Polimer-1-hez viszonyítva. Ez azzal magyarázható, hogy a kisméretű részecskék póruseltömő hatása kevésbé érvényesül.

A 7. Táblázatból látható, hogy a módosított részecskeméret eloszlású hőtűrő fűrészi folyadék alkalmazásakor elsősorban a dinamikus folyadékkiszűrődés esetében lett kedvezőbb a visszanyert áteresztőképesség. Ez az eredmény arra enged következtetni, hogy az öblítő folyadék szemcseméret eloszlásának változtatása, az átfűrt formáció és a hőmérsékleti hatás szempontjából is jelentős hatással bír.

Béléscső befűrésznél a rétegmegnyitás perforálással történik, így itt a nagy hőmérséklet és differenciális nyomás következtében kialakult permeabilitás csökkenés, amennyiben a közvetlen kútkörnyéki zónára korlátozódik, pozitív eredmény, hiszen ez által a termelő formációt megóvhatjuk a nagyobb mélységű szilárdanyag és folyadék inváziótól.

7.Táblázat Visszanyert permeabilitások

Iszap típus	Temp. (°C)	k_{wr} (sztatikus kiszűrődés után) (%)	k_{wr} (dinamikus kiszűrődés után) (%)
Ca bázisú/HT/Polimer 2./a	180	16	13
Ca bázisú/HT/Polimer 2./b	180	18	5.3
Ca bázisú/HT/Polimer 2./c	180	39	5.1
Ca bázisú/HT/Polimer 1.	180	15.8	1.4

5. A Fann 50 típusú, HTHP viszkoziméterrel végzett vizsgálataim eredményei alapján megállapítottam, hogy a folyadék-kiszűrődés mérésekhez alkalmazott, 1200 kg/m³ sűrűségű speciális fűrési folyadék (Ca-bázisú/HT/Polimer-2. típus) (511 s⁻¹ nyírási sebességnél mért) viszkozitásának változása a hőmérséklet függvényében (a 45 -200°C tartományban) jól leírható a

$$\mu = -a * \ln(T) + b$$

összefüggéssel. Ez jó lehetőséget ad a fűrőlyukban a növekvő mélységgel változó viszkozitás értékek becslésére, s ezzel a hidraulikai jellemzők (ΔP_a , ECD, CCI), pontosabb, megbízhatóbb számítására.

Vizesközegű fűrési folyadékokban általában bentonitot, valamint jellemzőn vízőldható polimereket alkalmaznak a reológia tulajdonságok, a viszkozitás szabályozására. Az öblítőiszap viszkozitása, vagy folyással szembeni ellenállása, az egyik legfontosabb tényező. A viszkozitása határozza meg mennyire hatékonyan képes az öblítő folyadék a furadékot a felszínre szállítani. Ezen paraméter megfelelő ismerete fontos a hidraulikai számítások pontos elvégzéséhez.

A hőmérséklet növekedésével a viszkozitás csökken. A viszkozitás csökkenésével romlik a furadék kiszállítási hatékonyság és nagyobb lesz a kiszűrődött mennyiség. Minthogy a nagy hőmérsékletű kutakban a hőmérséklet különbség igen nagy a felszín és a lyuktalp között, kulcsfontosságú a kúttalpi viszkozitás ismerete. A Fann M50 HTHP reométerrel végzett vizsgálatok eredményeinek elemzése alapján megalkottam egy közelítő egyenletet (Eq. 29), amely alkalmas a várható viszkozitás csökkenés számítására. A Fann M50 HTHP reométer az iszap viszkozitását az adott fordulatszámmon (nyírási sebességen) centipoise-ban (cP) méri, amely egyenlő a mPas értékkel.

$$\mu = -a * \ln(T) + b \quad (29)$$

Ahol μ az öblítő folyadék viszkozitása, T a hőmérséklet, a és b az adalékanyagoktól függő konstansok.

A viszkozitás csökkenés egyenleteinek hasonlóságát alapul véve (8. Táblázat) egy közelítő egyenletet alkottam mely pontos közelítést ad a Ca-bázisú/HT/Polimer-2. típusú iszapok hőmérséklet okozta viszkozitás változására. Ez az összefüggés jelentős, mert e tesztelt fűrési folyadékot a magyarországi nagy hőmérsékletű kutak fűrására gyakorta alkalmazzák.

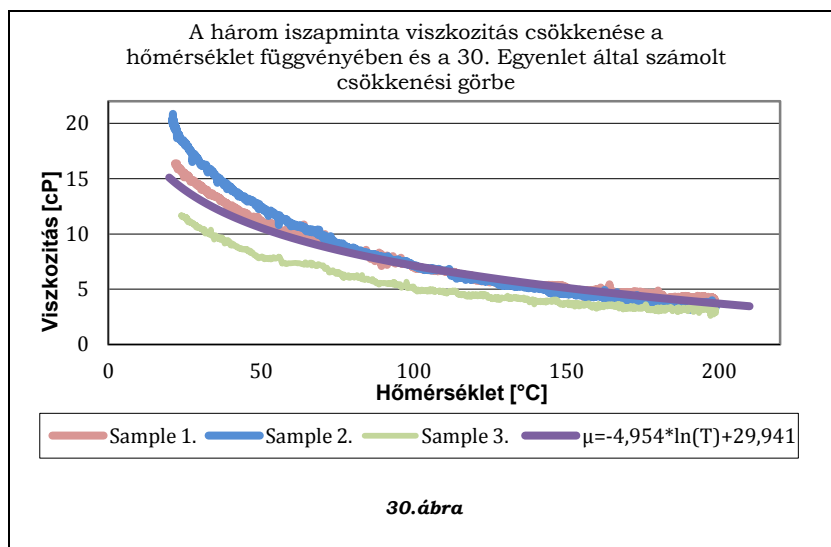
8.Táblázat Viszkozitás csökkenési egyenletek a különböző mintákra

Iszap típus	Fűtés	Hűtés
Ca based/HT/Polymer 2./a (Sample 1)	$\mu = -5,462 \ln(T) + 32,629$	$\mu = -4,111 \ln(T) + 25,234$
Ca based/HT/Polymer 2./b (Sample 2)	$\mu = -7,411 \ln(T) + 41,942$	$\mu = -5,506 \ln(T) + 31,574$
Ca based/HT/Polymer 2./c (Sample 3)	$\mu = -3,964 \ln(T) + 23,72$	$\mu = -3,271 \ln(T) + 19,749$

A közelítő egyenlet a következő:

$$\mu = -4,954 * \ln(T) + 29,941 \quad (30)$$

A 30. ábrán a három minta mért, és a (30) egyenlet alkalmazásával számolt viszkozitás csökkenési görbéjét ábrázolja. Az ábráról kitűnően látható milyen jó közelítéssel szimulálja az egyenlet az adott folyadék viszkozitás változását.



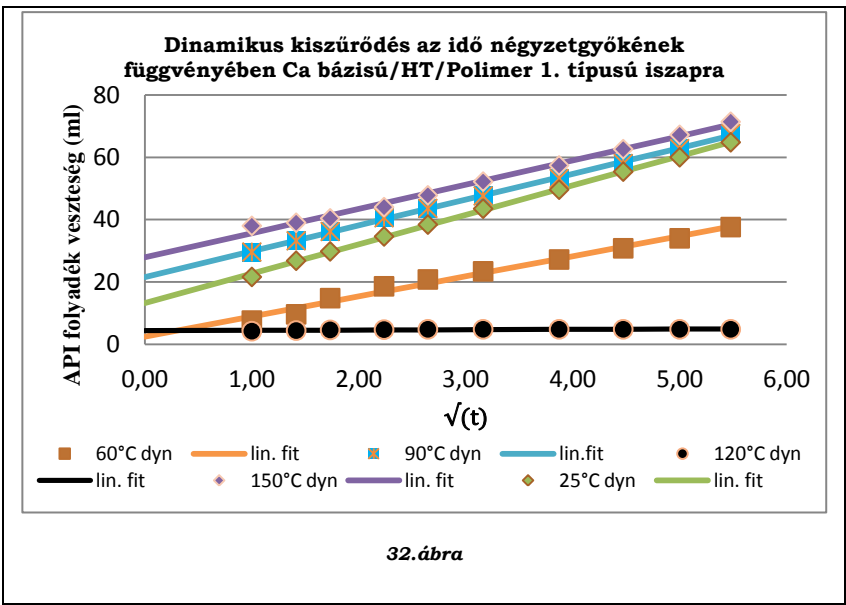
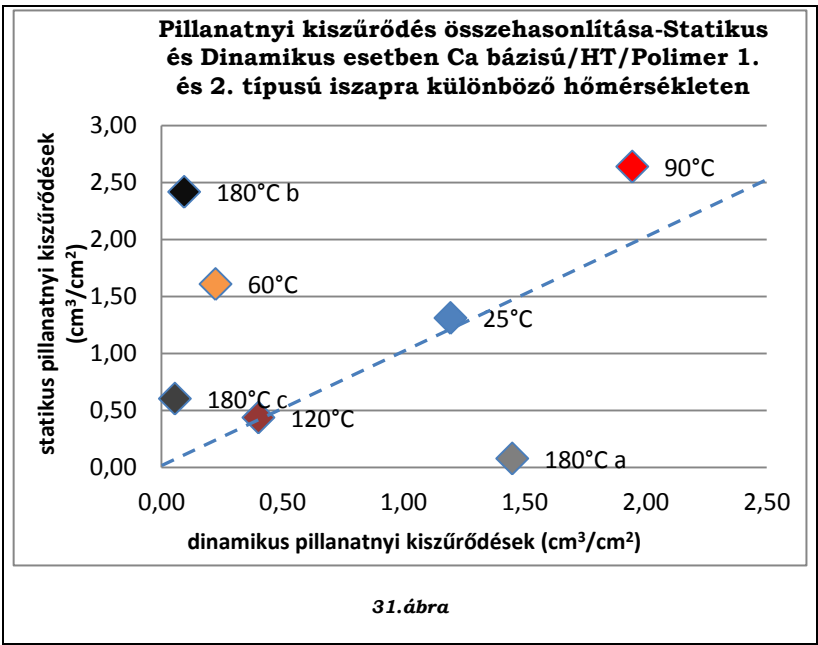
6. A folyadék-kiszűrődés vizsgálatok mérési eredményeinek értékelése alapján bizonyítottam, hogy a speciális fúrási folyadékok (Ca-bázisú/HT/Polimer-1. és -2. típusok) természetes homokkő mintákon bemutatott dinamikus szűrődése esetében is lineáris kapcsolat van a kiszűrődött folyadék térfogata és a szűrődési idő négyzetgyöke között, ugyanúgy, mint sztatikus kiszűrődés esetén, megfelelően a klasszikus szűrődési egyenletnek.

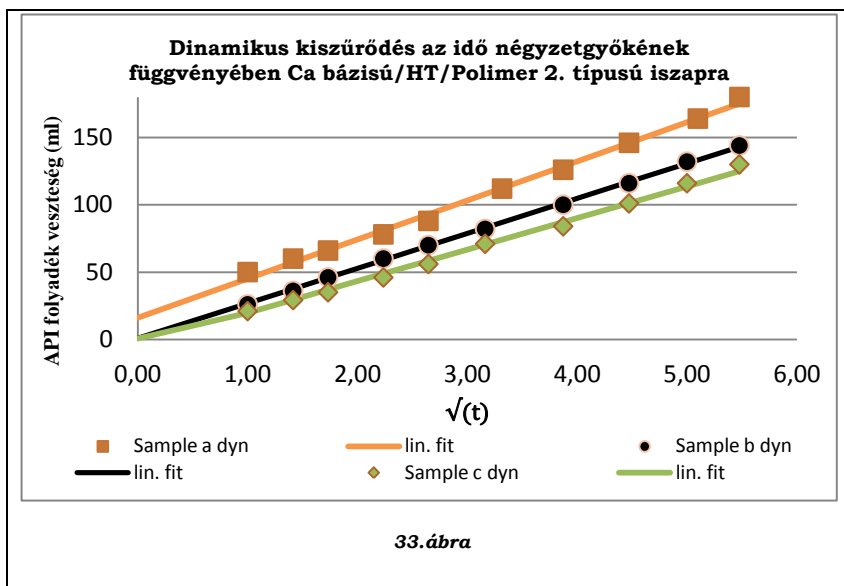
Megállapítottam továbbá, hogy az un. pillanatnyi kiszűrődés (spurt loss) mértéke dinamikus folyadék-kiszűrődés esetében kisebb, mint sztatikus folyadék-kiszűrődés esetén (hasonlóan a teljes szüredék térfogathoz).

Az iszaplepeny kialakulása előtt kiszűrődött iszapmennyiséget nevezük pillanatnyi kiszűrődésnek. Ez az első néhány tized másodpercben történik, mielőtt a kiszűrődött mennyiség arányossá nem válik az idő négyzetgyökével.

A munkám egyik fő célja, hogy összehasonlítsa a kiszűrődési tulajdonságokat és a homokkő tárolókban okozott károkat extrém körülményeken. A fúróiszap kiszűrődési kinetikája fontos paraméter a lyukfalon keresztüli kiszűrődés tekintetében, hiszen mind a pillanatnyi filtráció mind a teljes szűrlet mennyiség hatással van a folyadék (szüredék) behatolás mélységére. Általánosságban minél nagyobb a kiszűrődött folyadék mennyisége annál mélyebb az invázió. A pillanatnyi kiszűrődés hidrodinamikai feltételeinek bemutatására megalkottam a 31. ábrát, amely a sztatikus mennyiségeket ábrázolja a dinamikus mennyiségek függvényében. Az ábra által is bizonyítottam, hogy a Ca-bázisú/HT/Polimer iszapok algói homokköveken végzett vizsgálata esetén a sztatikus pillanatnyi kiszűrődések nagyobbak, mint a dinamikus körülmények között mérték.

A kiszűrődési diagramok két részből állnak, a *pillanatnyi kiszűrődési* részből, amely a folyadékfázis gyors invázióját reprezentálja és a *filtrációs* részből, ahol a kiszűrődés stabilizálódott vagy csökkenő ütemben történik. Mikor dinamikus esetekre ábrázoltam a kumulatív kiszűrődött folyadék mennyiségeket a sztatikus esetekre jól ismert lineáris összefüggést kaptam. Ezen összefüggéseket a 32. és 33. ábra mutatja.





7. Kombinált folyadék-kiszűrődés vizsgálatot végeztem a fúrólukbani folyadék-kiszűrődési folyamat szimulálására, ahol a dinamikus és sztatikus szűrődési periódusok váltakoznak. 10 perces dinamikus majd 10 perces sztatikus, ezt követően újabb 10 perces dinamikus kiszűrődési fázist alkalmaztam. Megállapítottam, hogy a 30 perces kombinált szűrődés (7 mD-s algyói homokkő és Ca-bázisú/HT/Polimer-2. típusú folyadék) során kapott szűrlet-térfogat kisebb, a permeabilitás csökkenés nagyobb lett, mint dinamikus, illetve sztatikus ciklusban.

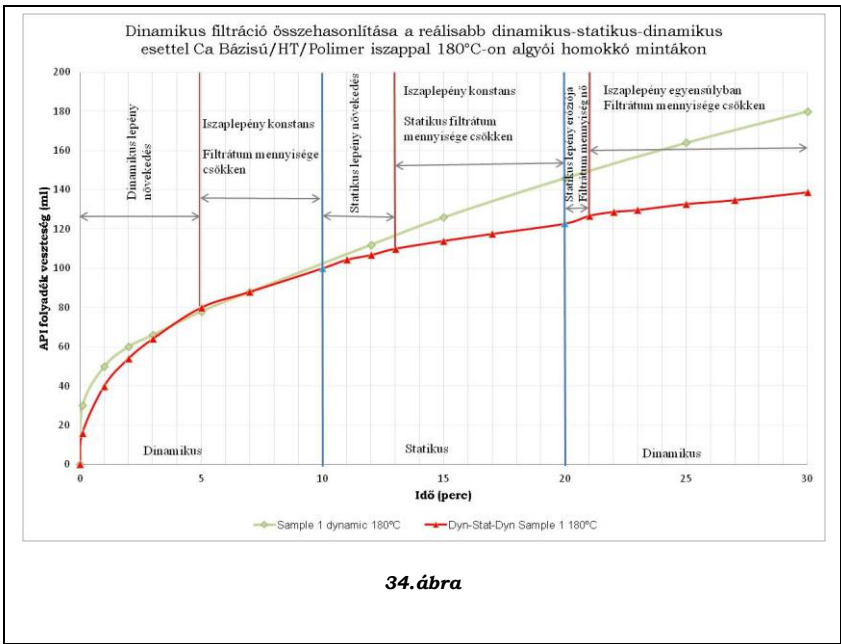
Megállapítottam ezúton, hogy a kombinált/szimulált folyadék-kiszűrődés vizsgálat pontosabb képet ad a tényleges viszonyokról és megbízhatóbbá teszi a mélybeli folyadék-behatolás (elárasztás) mértékének becslését.

A laboratóriumi és ezen belül a kiszűrődési vizsgálatok nélkülözhetetlenek a fúrási gyakorlat számára. A tesztek általában sztatikus körülményeken végzik, ezért a dinamikus vizsgálatok jelentősége különösen nagy elsősorban azért, mert az ipari gyakorlatban kivételesek a dinamikus vizsgálatok. Az egész világon

igen csekély a dinamikus vizsgálatok száma, így ezek eredményei nagyon fontosak. A nagy nyomású és legfőképp a nagy hőmérsékletű dinamikus vizsgálatok száma még ezen belül is alacsony ez által eredményei még értékesebbek a küttalpi körülmények feltérképezése érdekében.

Mindazonáltal sem a csupán sztatikus sem a kizárólag dinamikus vizsgálatok nem adják a legélethűbb képet a küttalpi viszonyokról. Azt tűztem ki célul, hogy a lyuktalpi feltételeket szimuláljam ennek okán végeztem egy három, egyenként 10 perces szakaszból álló API kiszűrődés vizsgálatot.

Mint a 34. ábrán látható a realisztikusabb esetben, rátoldást (sztatikus szakaszi) feltételezve, a szűrlet mennyisége kevesebb lett, mint a kizárólag dinamikus végrehajtott teszt során. A keletkezett belső iszaplepleny nagyobb átteresztőképesség csökkenést eredményezett (a sztatikus szakaszban), mint várható volt ez által a réteget jobban megóvja a fűrőiszapszűrlet invázióval szemben.



34. ábra

4. A TÉMAKÖRBE KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓK

1. Gabriella Federer: **Well hydraulics in relation with casing drilling** microCAD 2005 International Scientific Conference ISBN 963 661 649 3., University of Miskolc, 2005 p.7-14
2. Federer G.P.: **Comparison of well hydraulics between conventional rotary drilling and casing drilling**, Neftyanotvoje Delo ISBN 5-98755-003-3., Ufa-Miskolc 2, 2004 p.53-60 (published in Russian)
3. Gabriella Federer-Kovács, Andrea Mátrai: **Examination of Static and Dynamic Filtration on Core Plug Samples on High Temperature**, SPE 165083
4. Gabriella Federer-Kovacs: **Simulation of a Re-entry With Casing Drilling Under HPHT Conditions**, Geosciences and Engineering, Vol. 1, No. 2(2012), pp. 51-56, HU ISSN 2063-6997
5. Tibor Bódi, Gabriella Federer-Kovacs: **Calculation of the capillary pressure for water versus the water saturation**, 2nd Central And Eastern European International Oil And Gas Conference And Exhibition, Šibenik 02.-05.10.2012.
6. Gabriella Federer-Kovacs: **Examination of Static and Dynamic Filtration on Core Plug Samples on Increasing Temperature**, 2nd Central And Eastern European International Oil And Gas Conference And Exhibition, Šibenik 02.-05.10.2012.
7. Csaba Szepesi; Gabriella Federer-Kovacs: **Analyze of useable well control method for long open hole section**, Well Control and Well Capping Conference, Szolnok, Hungary, September 8-9, 2009.
8. Tibor Szabo; Gabriella Federer-Kovacs: **Underbalanced drilling well control**. Well Control and Well Capping Conference, Szolnok, Hungary, September 8-9, 2009.
9. Gabriella Federer-Kovacs: **Feasibility of the application of underbalanced drilling during domestic drilling operations**, Conference of PhD Students, University of Miskolc 11.09.2005. p. 55-59 (published in Hungarian)
10. Gabriella Federer-Kovacs: **Feasibility of the application of gas circulation during domestic drilling operations**, 26th International Petroleum & Gas Conference and Exhibition, September 21-24 2005
11. Gabriella Federer-Kovacs: **Improve efficiency of cutting transport with foam drilling**, 5th International Conference of PhD Students, University of Miskolc 14-20 August 2005
12. Gabriella Federer: **Well hydraulics in relation with casing drilling**, microCAD 2005 International Scientific Conference, University of Miskolc 10-11 March 2005.
13. Gabriella Federer: **Evaluation the well hydraulic in relation with casing drilling**, Freiburger Forschungsforum, TU Bergakademie Freiberg 16-18 June 2004.
14. Gabriella Federer: **Search of the effects of equivalent circulating density in relation with casing drilling**, Conference of PhD Students, University of Miskolc November 6. 2003. (published in Hungarian)