



MISKOLCI
EGYETEM
UNIVERSITY OF MISKOLC

MISKOLCI EGYETEM
MŰSZAKI FÖLDTUDOMÁNYI KAR



MIKOVINY SÁMUEL FÖLDTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA

Perforált szénhidrogén termelő kutak beáramlási viszonyainak vizsgálata

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Készítette:

Pásztor Ádám Viktor

okleveles olajmérnök

Tudományos témavezető:

Dr. Turzó Zoltán

egyetemi docens

A Doktori Iskola vezetője:

Prof. Dr. Szűcs Péter

egyetemi tanár, MTA doktora

Miskolc, 2020

1. A kutatómunka célja, rövid leírása

A 2014-2016-os olajár válság a kőolaj világpiaci árának jelentős, több mint 70%-os esését eredményezte. Az eddig nem tapasztalt, új gazdasági környezetben a termelő kutak termelési, - és költséghatékony optimalizálása minden eddiginél fontosabb lett. Az ipari tapasztalat azt mutatja, hogy a termelő kutak termelékenységét nagy mértékben javítja a megfelelően megtervezett és kivitelezett perforálás. Sajnálatos módon a ma használt számolási módszerek, amelyek alkalmasak lehetnek a perforálás – és így a termelékenység – optimalizálására, gyökerei egy több mint harminc éves, numerikus szimulációkra alapozott módszerre nyúlnak vissza. Ezen felül számos, a perforációk körül kialakuló áramlást érintő kérdés mindmáig tisztázatlan maradt.

A kutatómunkám során a konszolidált tárolókra mélyített, perforált szénhidrogénkutak beáramlási viszonyait vizsgáltam, ami elsődlegesen az egyes perforációs paraméterek beáramlásra gyakorolt hatásának megismerésére irányult. A munkám során egy új analitikus modell bevezetését tartottam szükségesnek, mivel az iparban használt eddigi módszerek egyes – lényeges - hatásokat figyelmen kívül hagytak. Az elkészült módszer lehetőséget adott a perforáció okozta nyomáscsökkenés pontosabb meghatározására. A lefolytatott vizsgálatok eredményei és az ipari tapasztalatok erős összhangban vannak egymással.

A dolgozatban bemutatom a perforálás paramétereit és kitérek azok sajátosságaira és a velük kapcsolatos eddigi ismeretekre. Ismertetem továbbá a szénhidrogén termelő kutak termelékenységének jellemzésére alkalmas módszereket és az ideálistól való eltérés mértékét, a szkin tényezőket.

A perforált kutak hozamának meghatározására számos módszert publikáltak a múltban. A munkám során megvizsgáltam a legfontosabb és legszélesebb körben alkalmazott módszereket. Az ennek során kapott eredményeim rávilágítottak arra, hogy ezen módszerek pontossága megkérdőjelezhető, mivel fontos hatásokat figyelmen kívül hagynak.

A továbbiakban azonosítottam a perforációk körül található áramlási zónákat, valamint a régebbi módszerek által elhanyagolt áramlást befolyásoló tényezőket. Sorra meghatároztam az egyes áramlási zónákban a térfogatáram és a zónán belüli nyomáscsökkenés kapcsolatát, valamint az eddig figyelmen kívül hagyott tényezők hatását.

Az újonnan levezetett módszerrel beható vizsgálatot végeztem az egyes perforációs paraméterek beáramlásra gyakorolt hatásáról mind olaj, mind gázkutak esetében. Ezen felül megvizsgáltam a szennyezett zóna okozta nyomáscsökkenést különböző perforáció hosszok esetében, illetve az ilyenkor rétegkezeléssel elérhető termelékenység javulást.

A vizsgálatok eredményei összhangban vannak az ipari tapasztalatokkal. A levont következtetések jó iránymutatást adnak a perforálás tervezéséhez, s így a levezetett módszer alkalmas a termelésoptimalizálás lehetőségeinek vizsgálatára.

2. A feltárt eredmények ipari jelentősége, potenciálja

Ahogy már említésre került, a kutatásaim során feltárt eredmények jó összhangban vannak az ipari tapasztalatokkal. A perforálást végző szervíz vállalatok régi törekvése, hogy az adott termelő szakasz megnyitásakor egyre mélyebb behatolású perforáció csatornákat érjenek el, mivel a termelési tapasztalatok azt mutatják, hogy így érhető el a legjobb termelékenység. Szintén általános törekvés az optimális fázisszög (45°-60°) használata, valamint az is régóta ismert, hogy a gázkutak termelékenysége érzékenyebb a perforáció kialakítására, mint az olajkutaké.

Az értekezésben bemutatott számolási módszerem egyik nagy előnye ugyanakkor, hogy egyszerűen leprogramozható és számítási erőforrás igénye minimális az áramlástan szimulációs programokéhoz képest. A kutak tervezési szakaszában így lehetővé válik az optimális – technikai és gazdasági értelemben is - a perforálás megtervezése, azaz:

- Az optimális termelékenység modellezhető, számítható,
- A költségelemzések (pl. a perforálás, illetve egyéb kútmegnyitások), variációinak analízise könnyen megvalósítható,
- A technológia, illetve a szervízt biztosító cégek kiválasztása könnyen és gyorsan végigvihető,
- A perforálási szervizek költséghatékonyság vizsgálata bemutatható.

Ezen felül, a módszer rétegserkentési, rétegkezelési projekteknél is rendkívül jól hasznosítható:

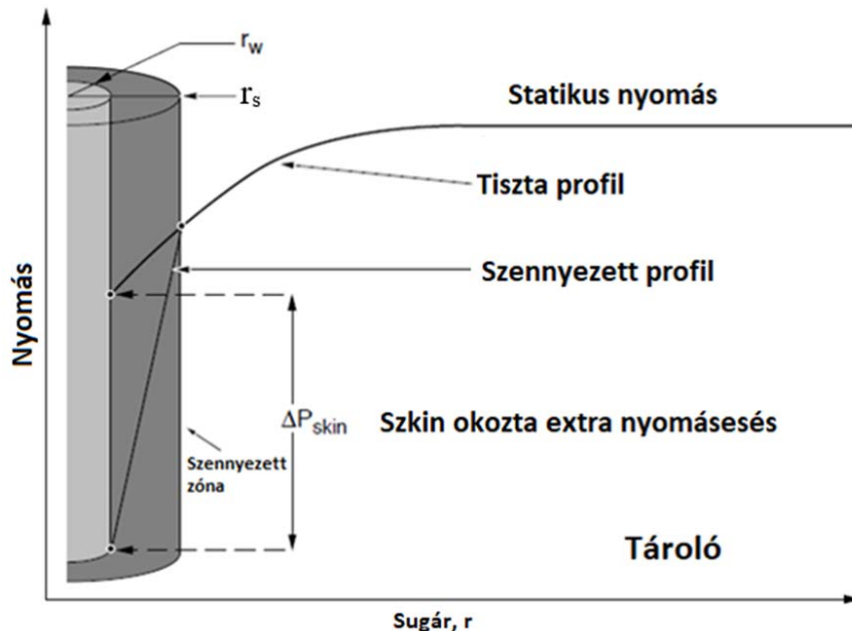
- alkalmas a nem kielégítő termelékenység okainak vizsgálatára,
- felhasználható a rétegkezelési (savas, nem savas, oldószeres stb.) beavatkozások eredményességének vizsgálatára, lehetővé téve a gazdasági megtérülés becslését.

A felsoroltak alapján a módszer alkalmazható a serkentési programok több fázisában is, a kandidátus kutak választásától egészen az elvégzett beavatkozás eredményességének utólagos vizsgálatáig.

Összegezve megállapítható, hogy a jelenlegi világgazdasági környezetben kiemelt fontosságú a költséghatékony megoldások szelekciója, azaz a lehető legkisebb ráfordítással biztosítani a

megcélzott hatásfokot a termelő kutaknál. A módszer ehhez nyújt gyors és hathatós segítséget mind az új kutak tervezése során, mind a már termelésbe állított kutak vizsgálata kapcsán.

3. A kutatás során alkalmazott megfontolások



1. ábra: Szkin tényező hatása (elárasztott zóna) (Ballistics, 2014)

A termelékenységet befolyásoló tényezőket a szkin hatást bemutató ábra (1. ábra) alapján az általuk okozott extra nyomáseséssel is jellemezhetjük. Ez a nyomásesés az áramlási út egyes szakaszain eltérő, emiatt érdemes az áramlási utat a jellemző nyomásesést befolyásoló hatások szerint felbontani. A felbontás az áramlás irányában a következő:

1. Nyomásesés a kút közvetlen környezetéig (kút tengelyére merőleges áramlás).
2. Nyomásesés a perforációk közvetlen környezetében (perforációk tengelyére merőleges áramlás)
3. Nyomásesés a zúzott zónában.
4. Nyomásesés a perforációs csatornáknban.

Mint ahogyan az a számos szkin elméletből is kitűnik, az egyes hatások nem függetlenek egymástól, ezért ezeket a hatásokat nem is lehetséges elszigetelten vizsgálni. Például az áramlás első részének hossza attól függ, hogy hol vált az áramlás irányt a kút tengelyére merőleges áramlásról a perforáció tengelyére merőleges áramlásra, ez azonban nem független a perforáció körüli és perforáción belüli nyomáseséstől. Emiatt célszerű a vizsgálatot az áramlás irányával ellentétesen végezve haladni, így visszafejtve a teljes hatást.

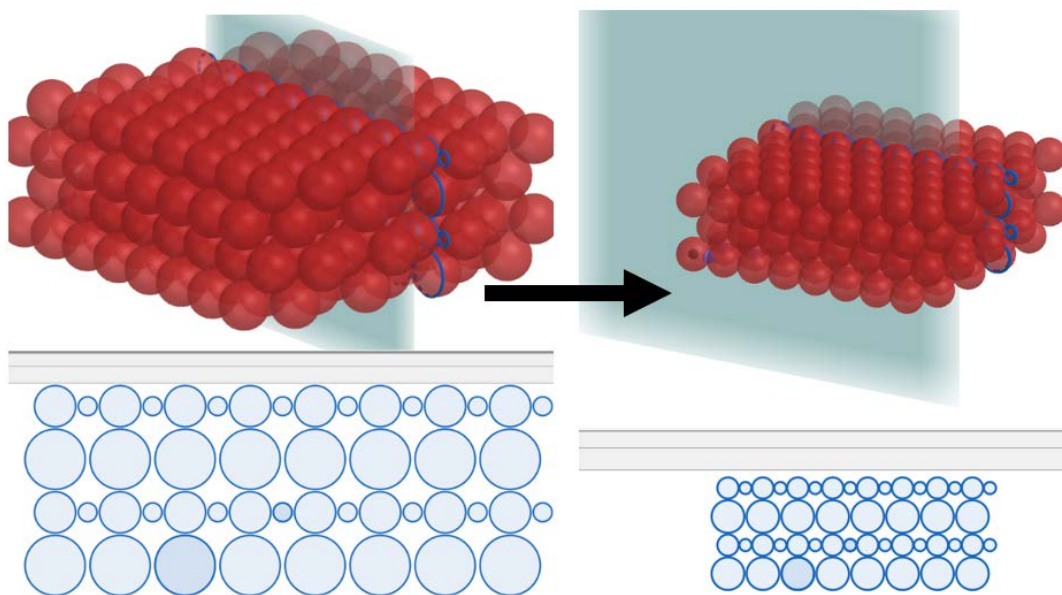
3.1 Nyomáskereső a perforációs csatornában

A perforálás hatását vizsgáló szerzők szinte teljes mértékben elhanyagolják a csatornában fellépő áramlási veszteségeket. Úgy vélik, hogy az egyes csatornában a teljes térfogatáramnak csak a töredéke áramlik. Mivel a vezetőképességük többszöröse a kőzet vezetőképességének, így a rajtuk keresztül fellépő veszteség a teljes veszteséghez képest elhanyagolható.

Azonban, ha a fluidum áramlás egyéb szakaszaira is hatással lehet ez a veszteség, ez az elhanyagolás már korántsem ilyen kézenfekvő. Feltéve, hogy az áramlási irányváltás függ az egyes részeknél fellépő nyomásvesztésektől, a csatornák áramlásra gyakorolt ellenállása közvetlenül befolyásolja az egyes szakaszok hosszát. Ennek megfelelően eme jelenséget sokkal körültekintőbben kell vizsgálni.

3.2 Nyomáskereső a zúzott zónában

A perforációs csatornák körül kialakuló - csökkent átteresztőképességű – zúzott réteg hatása szinte teljesen megfeleltethető (analóg) a nyitott lyukszakaszos kútkiképzésnél kialakuló szennyezett zóna hatásának. A nyomáskeresőre gyakorolt hatás így számolható a Hawkin (Hawkins Jr., 1956) által megadott eljárás alapján. A problémát nem a számolás, vagy a figyelembevétel nehézsége adja, hanem az átteresztőképesség-romlás mibenléte. Pucknell és Behrmann (Pucknell & Behrmann, 1991) szerint az átteresztőképesség romlása mellett a zúzott zónán belüli porozitás alig változik. Ezt azzal magyarázták, hogy a perforálás hatására a kőzetszemcsék elaprózódnak és így csökken a pórustorok átmérője.



2. ábra: Szemcseméret változás hatása

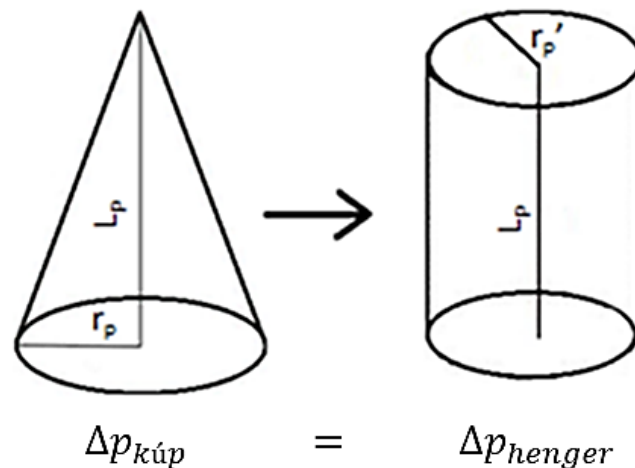
Ahogy azt az előbbi ábra (2. ábra) is mutatja, a szemcseméret csökkenés elméletileg valóban változatlan porozitást (üres térrész aránya az egészhez) eredményez kisebb pórustorok átmérővel. Ha a permeabilitás csökkenés ennek a jelenségnek tudható be, akkor ez azt jelenti, hogy adott esetben az ebből fakadó nyomásesést nem lehet teljesen csökkenteni a kútkörnyék savas rétegkezelésével.

3.3 Nyomásesés a perforációk közelében

A perforációk környékén kialakuló nyomásveszteség meghatározásához két jelenséget kell figyelembe venni: egyrészt a perforációs csatornák alakja nem hengeres, hanem inkább kúpos (Snider, et al., 1997), másrészt a csatornák korlátozhatják egymás gyűjtőterét. Mindkét hatás befolyásolhatja az áramlást, ezért vizsgálatuk elengedhetetlen.

Alaki hatás:

Az áramlási egyenletek hengerkoordináta rendszerben kifejtve is alkalmasak kutak hozamának leírására. Az egyenleteket felhasználva feltételezzük, hogy a gyűjtő henger alakú, így a kapott megoldás is hengeres testre lesz érvényes. Ehhez meg kell találni azt a transzformációt, amivel az alaki különbözőségekből fakadó eltérés eltűnik. Vagyis meg kell keresni azt a hengert, amelyre a nyomásveszteség megegyezik az azonos magasságú kúpéval. Ennek a hengernek a sugara lesz az úgynevezett egyenértékű sugár (3. ábra).

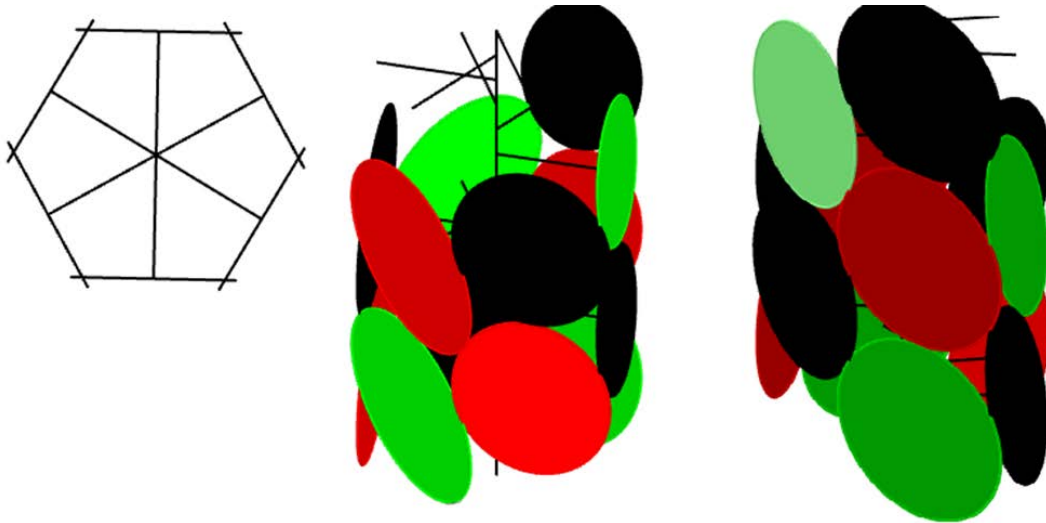


3. ábra: Egyenértékű sugár

Korlátozó hatás:

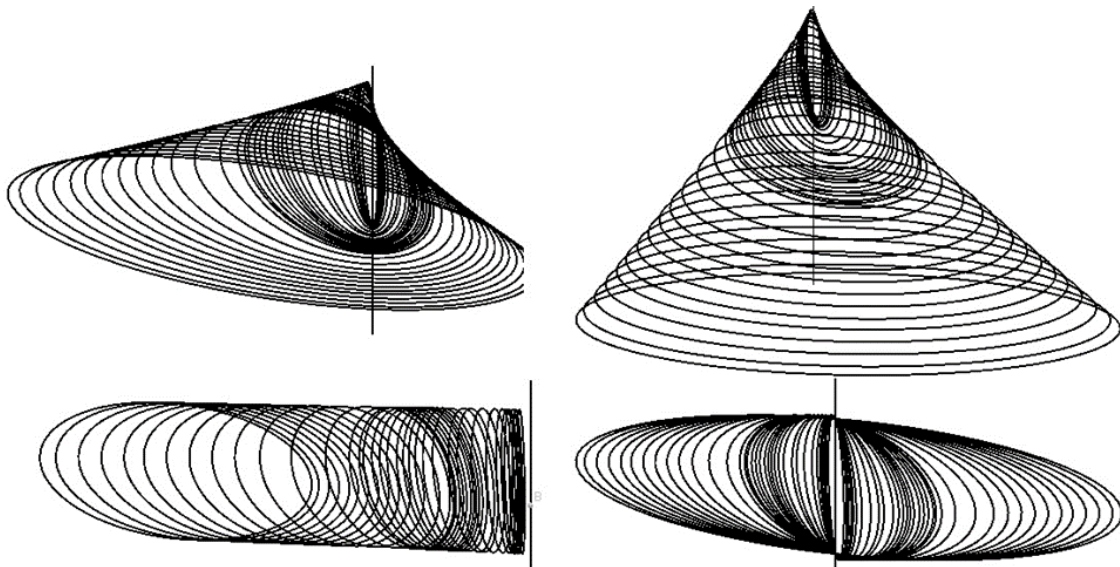
A kutak hozamegyenletének igen fontos paramétere a gyűjtőtér sugara. Mivel a perforációs csatornák körül kialakuló nyomásveszteségeket szintén a hozamegyenletekkel lehet meghatározni, ezért ebben az esetben is kritikus a gyűjtőtér nagyságának ismerete. A paraméter fontossága a McLeod módszer elemzése során szerzett tapasztalatokból is

látszódt. A szerző a gyűjtőtér sugarát egyszerűen a zúzott zóna sugarának felelteti meg, ezzel nagymértékben túlbecsüli a nem-darcy tagot a hozamegyenletben.



4. ábra: Perforációk korlátozó hatása ($\theta = 60^\circ$)

Minden egyes csatorna gyűjtőterét a szomszédos csatornák korlátozzák - mintegy fojtó hatásként. A perforációk gyűjtőterének a perforációk tengelyére vett merőleges síkmetszetét a fenti ábra mutatja (4 ábra). Látható, hogy a gyűjtőtér síkmetszete ellipszis, amit a hat szomszédos perforáció gyűjtőtere határol le. Ugyanez a jelenség figyelhető meg a szomszédos termelő kutak esetében is. A gyűjtőtér alakjának meghatározásához meg kell keressük a szomszédos perforációktól egyenlő távolságra lévő pontokat, melyekkel lehetséges a térrész lehatárolása.

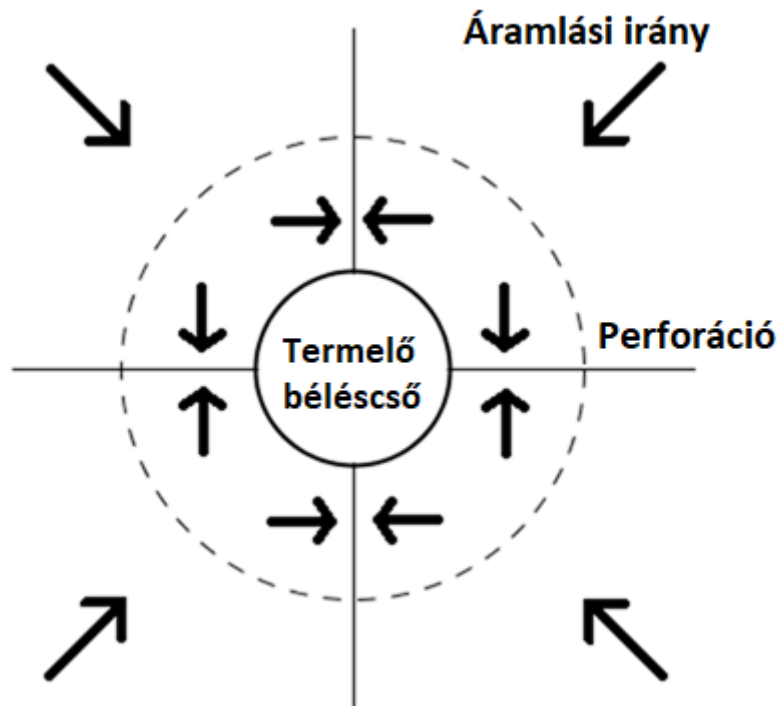


5. ábra: Perforációs csatorna gyűjtőtere ($\theta = 60^\circ$)

A fenti ábra (5. ábra) egy csatorna gyűjtőtérének alakját mutatja be, megfigyelhető, hogy ez az alak igen sajátos.

3.4 Nyomásesés a kút közvetlen környezetéig

Az áramlási nyomásvesztés a kút tengelyére merőleges irányú áramlási szakaszban matematikailag igen könnyű meghatározni, csupán az irányváltási zónáig kell felírni a kút hozamegyenletét. Ez olyan, mintha egy kiterjesztett kútsugárra számolnánk a hozamot.



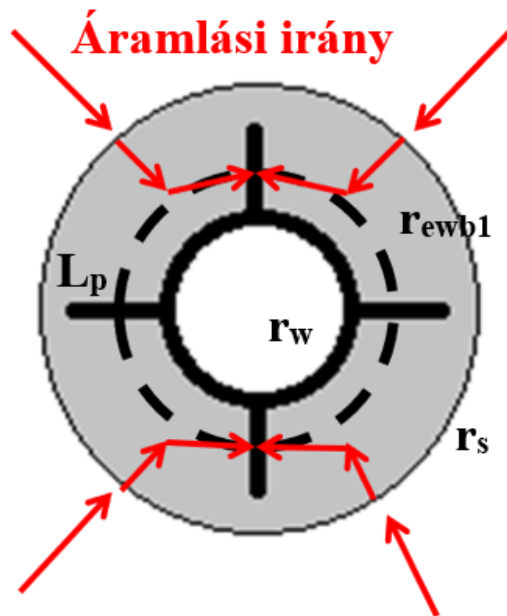
6. ábra: Irányváltás az áramlásban a kút körül

A nehézséget a veszteség meghatározásában az irányváltás helye okozza. Az nyilvánvaló, hogy a teljes térfogatáram nem egy diszkrét pontban változtatja meg áramlási irányát, hanem folyamatosan, viszont a számíthatóság érdekében szükséges azon pont meghatározása, amelyre a hatás megegyező.

3.5 Az elárasztott zóna hatása

További megfontolás tárgyát képezi az, hogy miként alakul a nyomásesés, ha az elárasztott zóna hatását is figyelembe vesszük. Két lehetséges eset fordulhat ilyenkor elő.

A szennyezett zóna túlnyúlik a perforációs csatornákon:

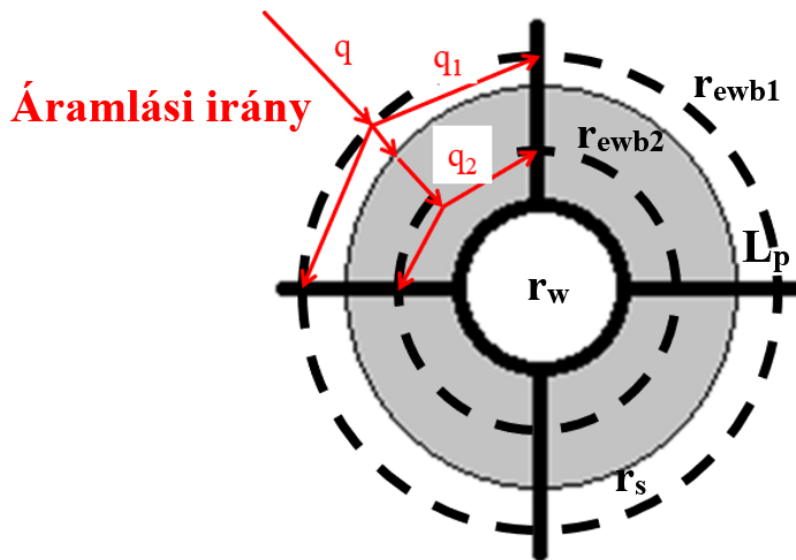


7. ábra: Áramlás a kúthoz (szennyezett zóna túlnyúlik a perforációkon)

Ebben az esetben a nyomásesések alakulása a következő:

1. Nyomásesés a szennyezett zónáig (kút tengelyére merőleges áramlás).
2. Nyomásesés az irányváltásig (kút tengelyére merőleges áramlás a szennyezett zónában).
3. Nyomásesés a perforációk közvetlen környezetében (perforációk tengelyére merőleges áramlás a szennyezett zónában)
4. Nyomásesés a zúzott zónában.
5. Nyomásesés a perforációs csatornáknban.

A perforációs csatornák túlnyúlnak a szennyezett zónán:



8. ábra: Áramlás a kúthoz (perforációk túlnyúlnak a szennyezett zónán)

Ebben az esetben a nyomásesés alakulása már lényegesen bonyolultabb, az áramlást több részre kell bontani, mivel két részletben történik meg az irányváltás:

1. Nyomásesés a kút közvetlen környezetéig (kút tengelyére merőleges áramlás) $[q]$.
2. Első irányváltás utáni nyomásesés ($\Delta p_{q_1} = \Delta p_{q_2}$):
 - a. Δp_{q_1} :
 - i. Nyomásesés a perforáció közvetlen közelében (perforációk tengelyére merőleges áramlás) $[q_1]$
 - ii. Nyomásesés a zúzott zónában $[q_1]$.
 - iii. Nyomásesés a perforációs csatornában $[q_1]$.
 - b. Δp_{q_2} :
 - i. Nyomásesés a második irányváltásig (kút tengelyére merőleges áramlás a szennyezett zónában) $[q_2]$.
 - ii. Nyomásesés a perforációk közvetlen közelében (perforációk tengelyére merőleges áramlás a szennyezett zónában) $[q_2]$.
 - iii. Nyomásesés a szennyezett zúzott zónában $[q_2]$.
 - iv. Nyomásesés a perforációs csatornában $[q_2]$.

Az áramlás szétválásának úgy kell történnie, hogy $q = q_1 + q_2$ és $\Delta p_{q_1} = \Delta p_{q_2}$ feltételek egyszerre teljesüljenek.

4. Tézisek

1. A régebbi, nem analitikusan levezetett számolási módszerek nem alkalmasak a nyomásvesztés pontos meghatározására

Számos módszer található a szakirodalomban a perforációk okozta nyomásesés meghatározására. Yldiz megvizsgálta az egyes módszerek pontosságát, azaz a mért eredményekkel összehasonlította a különböző módszerekkel számítható szkin tényezőket (Yldiz, 2016). A megvizsgált számolási módszerek többsége pontatlannak bizonyult az összehasonlítások során. McLeod módszerének alkalmazása esetében pl. a pontatlanságot az áramlási sebesség függő tag okozta, minden más esetben viszont a módszerek nem számolnak az áramlási sebesség függő taggal, ezért Yldiz megfigyelése rájuk helytálló.

A vizsgálatok eredménye megmutatta, hogy McLeod módszere nem veszi figyelembe a fázisszög hatását az áramlásra, így nem alkalmas minden tervezési paraméter együttes vizsgálatára. Eredményeimből egyértelműen kiderül, hogy Karakas és Tariq módszere nem számol az áramlási sebesség függő szkin tényezővel, ezért a perforálás hatását nagy mértékben alulbecsli gázkutak esetében.

Mindezek fényében kijelenthető, hogy a régebbi módszerek nem alkalmasak a perforációs rétegmegnyitások pontos tervezésre.

2. A perforációk alakja nem az áramlási egyenletekben leírt henger, ezért azok sugarán korrekciót szükséges végezni

Snider és tsai. (Snider, et al., 1997) több perforátor puska által kialakított perforáció csatorna alakját mutatja be. Ennek tanulsága alapján a perforációs csatornák alakja jellemzően kúpszerű. Mivel a nyomásesés meghatározására alkalmas módszerek levezetése polár koordináta-rendszerben történt, ezért megoldást henger alakú gyűjtőkre adnak. Belátható, hogy kúp alakú gyűjtők esetében a nyomásesésnek eltérőnek kell lennie, hiszen az áramlási hossz is és az irány is eltér némiképpen a hengeres gyűjtők esetében tapasztalhatóktól. Annak érdekében, hogy ezt az eltérést figyelembe lehessen venni, meg kell határozni azt a henger sugarát, amire a nyomásesés a megfelelő talp sugarú kúpéval egyezik meg, ez a perforációk egyenértékű hengerének sugara. A kapott eredmények validálása numerikus áramlástan szimulációval történt, ahol az eredményeim egyértelműen bizonyítják, hogy a geometriai transzformáció szükséges.

3. A perforációs csatornák korlátozzák egymás gyűjtőterét

Ismert jelenség, hogy az egymáshoz közeli termelő kutak hatással vannak egymásra, korlátozzák egymás gyűjtőterét. Hasonló jelenség várható a perforációk esetében is, hiszen ezek a csatornák egymáshoz igen közel helyezkednek el. A kialakuló gyűjtőterekre mind a

fázisszög, mind a lövéssűrűség hatással van. A kutatásom során elvégzett áramlási szimulációk eredménye alátámasztja a fenti elképzelést és igazolja a kialakult gyűjtőterek geometriáját.

4. A perforációs csatornában kialakuló nyomásesés elhanyagolható

Mivel a perforációk belsejének áramlási tulajdonságai pontosan nem leírhatóak, ezért a rajtuk vett nyomásveszteség pontos meghatározása nem lehetséges. A nyomásesés lehetséges tartományát azonban viszonylag jól meg lehet határozni azzal a feltételezéssel, hogy a belső fal érdes és ezt az érdességet a homokszemcsék okozzák. A lehetséges tartományt meghatározva összehasonlítható a kőzet és a perforáció áramlásra kifejtett ellenállása. Fontos azonban megjegyezni, hogy az összes feltételezés úgy történt, hogy a perforációkban jelentkező nyomásesés túlbecsléséhez vezessen. A kapott eredmények tanulsága alapján a reális olaj, illetve gáz áramlási tartományban:

- a nyomásesés mintegy százszorta nagyobb a kőzetben gáz esetében,
- és ezerszer nagyobb olaj esetében.

Ebből adódóan a perforációs csatornák a kőzethez képest végtelen vezetőknek tekinthetők.

5. Az egyes zónákban párhuzamos áramlás jön létre

A szennyezett zóna hatása igen fontos optimalizálási szempontból. Annak függvényében, hogy a perforációk túlnyúlnak-e ezen a területen vagy sem, változik a nyomásesés számításának módja. Amennyiben nincs túlnyúlás, a szennyezett zóna határától a rontott áteresztőképességgel kell számolni. Túlnyúlás esetében a perforációkba már a tiszta zónában elkezdődik a beáramlás, viszont emellett párhuzamosan a szennyezett zónában is kell legyen áramlás. A jelenség analóg a párhuzamosan kapcsolat ellenállásokon átfolyó áramerősség megoszlásával. Ezt erősíti meg az elvégzett CFD szimulációk eredménye is.

6. A perforációk kialakításánál a perforáció sugarával szemben a hosszt kell előtérbe helyezni

A perforációk kialakításához használt perforátorok méreteire felső korlátot ad a termelő bélésű átmérője, amibe annak nyilvánvalóan mechanikailag be kell férnie, azaz biztonsággal be, és kiépíthető legyen a művelet során, majd azt követően. Ebből adódóan az alkalmazott robbanóanyag mennyisége - és így a létrehozott csatornák térfogata is - korlátozott.

A kutatásom során kifejlesztett módszert felhasználva megvizsgáltam, hogy olaj és gázkutak esetében hogyan hatnak az egyes perforációs paraméterek a termelékenységre. A kapott eredmények tanulsága szerint a perforáció csatornák sugarának növelésével elért pozitív változás elhanyagolható a perforációk hosszának növelésével elérhető előnyökhöz képest.

7. A termelési maximum eléréséhez a legmegfelelőbb fázisszög a 60° és 45°

A perforációk fázisszöge befolyásolja azok gyűjtőterének nagyságát, alakját és az áramlási irányváltás távolságát. Az új módszerrel elvégzett érzékenységi vizsgálatok tanulsága szerint a fázisszög csökkentése javítja a termelékenységet egészen 60°-ig. 60° ról 45°-ra csökkentve a fázisszöget a változás teljesen elhanyagolható és egyes esetekben nem javulást, hanem minimális romlást eredményez. Ennek az oka, hogy a gyűjtőtér nagyságát más paraméterek is befolyásolják és minden összeállításhoz létezik egy ideális fázisszög, aminek az értéke az elvégzett vizsgálatok alapján 45°és 60°között van.

8. Létezik olyan perforáció hossz, amelyre az elárasztott zóna hatása elhanyagolhatóvá válik.

A szennyezett zóna hatásának vizsgálata során fény derült arra, hogy a termelékenység szempontjából kritikus a szennyezett zóna túllövése. Eredményeim alapján a perforációs csatorna hosszának növelésekor egy adott ponton túl a kút termelékenysége szinte megegyezik a tiszta (réteggárosodás mentes) perforált kutakra számolt termelékenységgel. Ahogyan nő ugyanis a perforáció hossza, annál több fluidum lép be a tiszta zónában a perforációba és annál kevesebb áramlik a szennyezett zónában. Ebből következik, hogy minden esetre létezik olyan perforáció hossz, amelyre a szennyezett zóna elhanyagolható lesz.

5. Témában megjelent fontosabb tudományos közleményeim

Kovács, M. & Pásztor, Á., 2019. Effect on the non-Darcy flow. Zagreb, 6th Annual Student Energy Congress ASEC .

Pásztor, Á., 2015. A Perforáció Kialakításának Hatása A Szénhidrogén Termelő Kutak Produktivitására. Miskolc, Diáktudomány: A Miskolci Egyetem Tudományos Diákköri Munkáiból VIII. pp. 27-32, pp. 27-32.

Pásztor, Á., 2016. The Invaded Zone's Effect on The Inflow of Perforated Wells, Szolnok: Low and volatile oil price environment – Technical responses in the Pannonian Basin Conference.

Pasztor, A. & Kamenar, M., 2019. A novel modular method for intensification planning. INTERNATIONAL MULTIDISCIPLINARY SCIENTIFIC GEOCONFERENCE, 19(1.2), pp. 605-614.

Pásztor, A. & Kosztin, B., 2015. A Novel Method for Optimal Perforation Design. Budapest, SPE European Formation Damage Conference and Exhibition.

Pasztor, A. & Lengyel, T., 2019. Method to calculate apparent permeability of hydraulic fractures. International Multidisciplinary Scientific Geoconference 19, 19(1.2), pp. 985-992.

Pasztor, A. & Schultz, V., 2015. Analytical IPR equation for perforated wells, Visegrád, Hungary: SPE International Hungarian Section.

Pasztor, A. & Schultz, V., 2016. Analytical determination of the perforation design's effect on the productivity. MOL GROUP Professional Journal, Issue 1, pp. 108-117.

Pásztor, Á. & Schultz, V. M., 2017. A Perforációk Gyűjtőterének Hatása a Kutak Hozamegyenletérs. Miskolc: Műszaki Földtudományi Közlemények 86 : 2 pp. 114-130..

Pasztor, A. V., 2018. Effect of Microfractures on Filtration. International Multidisciplinary Scientific Geoconference, 18(1.4), pp. 413-420.

Pasztor, A. V., 2018. Pressure drop through perforation channels. International Multidisciplinary Scientific Geoconference , 18(1.4), pp. 697-704.

Pasztor, Á. V. & Remeczki, F., 2018. Method to analyze the effect of fractures in tight reservoirs. Zagreb, Annual Student Energy Congress.

Pásztor, Á. V. & Tóth, A., 2017. Effect of Perforation Parameters on the Productivity of Geothermal Wells. Miskolc, MultiScience - XXXI. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference.

Pásztor, Á. V. & Tóth, A. N., 2017. A Simple Method for Optimizing the Perforation Design of Geothermal Wells. International Multidisciplinary Scientific Geoconference, 17(42), pp. 11-18.

Turzó, Z. & Pásztor, Á., 2017. Perforálási hatékonyság értékelése CFD számítás alkalmazásával, Siófok: XXXI. Nemzetközi Olaj - és Gázipari Konferencia, Kiállítás.

Veleczi, P. & Pásztor, Á., 2019. In search of proper way to measure beta factor. Zagreb, 6th Annual Student Energy Congress ASEC .

6. Irodalomjegyzék

Hawkins Jr., M. F., 1956. A Note on the Skin Effect. Journal of Petroleum.

Pucknell, J. K. & Behrmann, L. A., 1991. An Investigation of the Damaged Zone Created by Perforating.: Society of Petroleum Engineers doi:10.2118/228811-MS.

Snider, P. M., Benzel, W. M., Barker, J. M. & Leidel, D. J., 1997. Perforation Damage Studies in Unconsolidated Sands: Changes in Formation Particle Sizes and the Distribution as a Function of Shaped Charge Design.

Yldiz, T., 2016. Assessment of Total Skin Factor in Perforated Wells. SPE Reservoir Evaluation & Engineering, 9(01), pp. 62-76.