

A korszerű rétegmegnyitás és jellemzői

K Á N N Á R T I B O R*

A korszerű rétegmegnyitás nagy teljesítményű, célszerű térbeli elrendezésben és elegendően nagy mennyiségben a tárolóba lött kumulatív perforátorokkal, egyidejűleg depresszió alkalmazásával végezhető el.

Konkrét körülményekre meghatározták a termelékenységi hányados és a fajlagos lövésszám összefüggést.

В настоящее время вскрытие пласта большой мощности можно производить кумулятивными перфораторами, при их достаточном количестве, а также целесообразном пространственном распределении выстрелов и при одновременном применении депрессии.

На конкретных примерах определена взаимосвязь между показателем производительности и удельным числом выстрела.

An up-to-date perforation job can be carried out by using high powered jet charges fired into the formation in a reasonable spaced configuration and in sufficiently large quantities.

The relationship between the productivity ratio and specific number of shot was determined for concrete conditions.

A korszerű, tehát hatékony rétegmegnyitás kivitelezésének módjával azért indokolt foglalkozni, mert a megnyitás hatékonyságának döntő szerepe van a kút további életében. A fúrás béléscsovezése és cementezése után a tárolóval minden kapcsolat (termelés, besajtolás, rétegkezelés) a perforációs csatornákon keresztül történik.

Hangsúlyozni kell: a korszerű megnyitás nem azonos azzal, hogy a tárolóból egyáltalán beáramlás van, vagy oda a folyadék – vagy gáz besajtolás elvégezhető. Egy permeabilis réteg egyetlen perforációs csatornán keresztül is termelhető, a kérdés csak az, hogy a rétegenergia milyen mértékű felhasználásával.

A rétegmegnyitás akkor korszerű, ha egységnyi mennyiségű termelvényre a legkevesebb rétegenergia-felhasználás esik – vagy, ha minél kisebb a besajtolási energiaigény-, tehát ha a „perforációs skin” (a perforációs csatornában és az általa befolyásolt térrészben a fluidum áthaladásnál fellépő nyomás-esés) minél kisebb.

Jelenlegi ismereteink szerint a korszerű rétegmegnyitás a tárolóban nagy csatornahosszat és nagy csatornaátmérőt létrehozó kumulatív perforátorokkal történhet, amelyeket kellően nagy depresszió alkalmazása mellett, a nagy termelékenységi hányados érdekében elegendően nagy mennyiségben, de még elfogadható költséggel, célszerű térbeli elrendezésben lőnek a tárolóba.

A korszerű rétegmegnyításhoz tehát:

- minél nagyobb csatornahosszat és átmérőt eredményező kumulatív perforátor
- a perforációk célszerű térbeli elrendezését eredményező puska-szerkezet
- elegendő nagy kútbeli depresszió
- elegendően nagy mennyiségű, de még elviselhető költséggel létrehozható perforáció

szükséges.

* Kőolajkutató Vállalat Szolnok

A kumulatív perforátorok előnyét a rétegmegnyitásra alkalmas egyéb módszerekkel, tehát a golyós perforátorokkal és az eróziós megnyitási módszerrel szemben Thompson bizonyította. Vizsgálatai szerint a kumulatív- és golyós perforátorokkal, továbbá az eróziós módszerrel létrehozott perforációs csatornák hossza [1] az 1. ábrán látható módon függ a kőzet nyomószilárdságától (σ_{ny}).

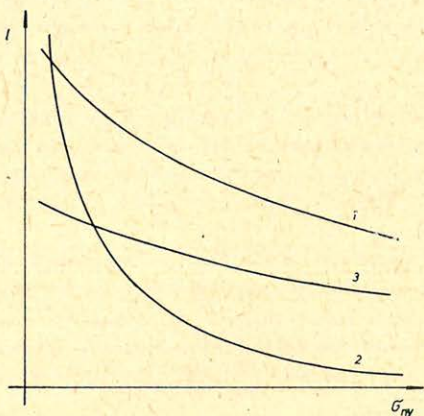
A minél nagyobb perforációs csatornahossz és -átmérő fontossága az alábbiakból látható be: ismeretes a Dupuit formulából származtatott PR termelékenységi hányados, amely az ideális (nem béléscsovezett) és valódi (béléscsovezett, perforációs *skin*-nel is terhelt) tároló hozamának a hányadosa:

$$PR = \frac{Q_{val}}{Q}$$

A tároló megnyitottsága annál jobb, minél nagyobb a PR hányados. A Dupuit formulából leszámaztathatóan viszont PR akkor nagy, ha a perforációs *skin* kicsi.

Ugyanakkor a termelékenységi hányados az úgynevezett perforációs paraméterekkel (l, d, m, n) kifejezve, Vezirov és társai szerint:

$$PR = \frac{\lg \frac{r_r}{r_k}}{\lg \frac{Ar_r}{l} + \frac{h}{lmn} \lg \frac{h}{\pi dm}}$$



Geo 85/6-1

1. ábra. A tároló nyomószilárdságának és a tárolóban elérhető perforációs csatornahossznak az összefüggése különböző rétegmegnyitási módszerek esetén; 1 – kumulatív perforátor, 2 – golyós perforátor, 3 – eróziós perforátor

Рис. 1. Взаимосвязь между сжатием на твердость коллектора и длиной перфорационного канала, которую можно достичь в коллекторе различными методами при вскрытии пластов. 1 – кумулятивная перфорация, 2 – перфорация пулями, 3 – эрозийная перфорация

Fig. 1. Relationship between compressive strength of the formation and length of perforated channels in it using various methods of perforation: 1 – jet perforation, 2 – bullet perforation, 3 – perforation by erosion.

ahol: r_r a tápterület sugara
 r_k a kút sugara
 h a tároló réteg vastagsága
 l a perforációs csatorna hossza a rétegben
 d a perforációs csatorna átmérője
 m a h vastagságú rétegben levő perforációs síkok száma
 n az egy síkban levő perforációs csatornák száma
 A n -től függő állandó.

A termelékenységi hányados itt akkor nagy, azaz a *perforációs skin* akkor kicsi, ha l , d , m és n perforációs paraméterek értéke nagy.

A korszerű rétegmegnyitás tehát nagy átmérőjű és hosszú csatornát adó perforátorokat igényel.

A rétegmegnyitás céljából a rétegbe lőtt perforátorok mennyisége az $m \cdot n$ szorzattal fejezhető ki. Ez a szorzat lényegében a perforációk térbeli elrendezésének, következésképpen a puskaszerkezetek kialakításának sokféleségét teszi lehetővé.

A perforációk ideális térbeli elrendezésével hozzávetőleg 10%-kal növelhető a termelékenységi hányados.

Ideálisnak – vizsgálatok alapján – az a perforációelrendezés tekinthető, ahol n , az egy síkban levő perforációs csatornák száma minél nagyobb, de legalább 4 és a síkok egymástól való távolsága állandó.

Ennek az elrendezésnek az ideális volta belátható akkor, ha figyelembe vesszük, hogy a *Dupuit*-képlet érvényességének egyik feltétele az, hogy a rétegben a folyadékmozgás lamináris legyen. Ennek a feltételnek a vízszintes és vagy ennek közelítésére az egy síkban minél több perforáció esete felel meg legjobban.

A termelékenységi hányados alakulása szempontjából a legkedvezőtlenebb eset az, amikor $n = 1$ és a perforációk egy függőleges síkban helyezkednek el.

A gyakorlatban a perforációk ideális térbeli elrendezésének korlátai vannak. A kútba beépített beléscső kis átmérője, a kellően nagy tömegű robbanóanyagot tartalmazó perforátorok méretei és a puskaszerkezet kútból történő visszacsörlőzhetőségének igénye általában olyan puskaszerkezetek alkalmazását teszik lehetővé, amelyekben egy, a puskatengelyre merőleges síkban csak egy perforátor helyezhető el.

A hazai gyakorlatban kivételt képez az ikerperforátor, amelynél $n = 2$ megvalósítható. A fűzérperforátorok alkalmazása sem jelenti a perforációk ideális elrendezésének lehetőségét, ellenkezőleg, az egy irányba szerelt, beléscsőfalra szorítva indított perforátorok a legkedvezőtlenebb megnyitási helyzetet jelentik.

Napjainkban a minél nagyobb csatornahosszat és csatornaátmérőt eredményező kumulatív perforátorok szükségességén és a perforációk optimális térbeli elrendezése korlátainak felismerésén kívül az is nyilvánvaló, hogy a korszerű rétegmegnyitás csak a rétegnomás és a réteg mélységében meglevő hidrosztatikus nyomás jelentős különbségének fennállása esetén, tehát a mélyfúrásban létrehozott jelentős depresszió mellett végezhető el.

Ugyanis a perforációs csatornát létrehozó, nagy hőmérsékletű és – sebességű, nagy mozgási energiájú fémolvadékból álló kumulatív sugár (jet) a kőzet mátrixát nem semmisíti meg (nem égeti el, nem szublimálja, nem jelentős a plazmaképződés sem), hanem a csatornából az azt körülvevő térrészben kipréselve növeli a csatorna környezetének kőzetanyag-sűrűségét és csökkenti a közvetlen kútkörnyezet permeabilitását.

Az összepréselt zóna permeabilitása javításának természetes módja a nagy depresszió: ekkor a *Bernoulli*-féle egyenletnek megfelelően a rétegből a kútba irányuló nagy sebességű fluidum áramlás mintegy összetöri a leromlott permeabilitású zónát és a kőzettörmelékét a perforáción keresztül kisépri.

Tekintettel arra, hogy a perforációs csatorna hosszának és átmérőjének növelése a napjainkban alkalmazott perforátorok továbbfejlesztésével alig lehetséges, továbbá, a perforációk térbeli elrendezésének jobbítására is alig van lehetőség, ezért a hatékony rétegmegnyitások érdekében – a nagy teljesítményű perforátorok alkalmazásával együtt – feltétlenül indokolt a nagy depresszió mellett végzett rétegmegnyitás.

Hazai gyakorlatban a módszer alkalmazása még nem általános, de a termelőcsövön keresztül lebocsátható hazai perforátorok tömeges használatbavételével számíthatunk a térhódítására.

A hatékony rétegmegnyitás döntően fontos eleme a rétegnek a kellően nagy fajlagos lövésszámmal történő megnyitása.

Ha belátjuk, hogy a perforátorok teljesítményének további növelése jelentősen nem lehetséges és a perforációk optimális térbeli eloszlásának megvalósítása is korlátokba ütközik, akkor a kellően nagy depresszió alkalmazásán kívül a kellően nagy fajlagos perforációs lövésszám létrehozása a hatékony rétegmegnyitás kivitelezésének jelenlegi és a jövőben lehetséges egyetlen módja.

A *Vezirov*-formulából nemcsak az a következtetés vonható le, hogy a termelékenységi hányados akkor a legnagyobb, ha a perforálási paraméterek is a legnagyobbak, hanem annak megállapítására is módot ad, hogy az elegendőnek elfogadott termelékenységi hányadoshoz mekkora fajlagos lövésszám szükséges konkrét perforátor – konkrét kútkonstrukció – konkrét tároló együttes esetén.

A képlet ilyen célra történő alkalmazásához kísérletileg meg kell határozni a használni szándékozott perforátor féleségekre a gyakorlatilag előforduló kútszerkezet- és tároló együttesek esetében a ténylegesen létrejövő csatornahosszat és csatornaátmérőt.

A kísérletek elvégzése a különböző perforátor féleségekkel a kőztanilag különböző tárolók in situ helyzetében, a kút-konstrukciók furat-átmérő, béléscső átmérő- és falvastagság, iszapsűrűség és -vastagság változásait és ezek egymásrahatását is figyelembe véve, továbbá tekintettel a 95%-os valószínűségi szinthez tartozó konfidencia intervallumra, az igen nagy számú kísérleti lövés elvégzése fáradságos és hosszadalmas munka.

A Kőolajkutató Vállalat kezdeményezésére és közreműködésével ezeket a kísérleteket a hazai kifejlesztésű *Albex - 12H* és *Táltos* típusú perforátorokra, az évtizedek óta gyártott hazai *H - 14 - 103* típusú és a nyugaton vásárolt *Tornado Link 2 1/8"* típusú, oktogén töltetű perforátorokra elvégezték.

A kísérletekbe bevont tároló-típusok az alsópannon homokkő és a mezozoós breccsásodott dolomit voltak. A kísérletek során mindkét tároló-típusnál ugyanazon 8 - 8 kút-konstrukciót modellezték le: a legnagyobb átmérőjű modell a 12 1/4" fúróátmérő, 9 5/8" béléscsőátmérő 11,51 mm falvastagsággal, 33,3 mm cementpalást vastagság és 70,5 mm iszapréteg-vastagság volt, a legkisebb átmérőjű modell a 6" fúróátmérő, 4 1/2" béléscsőátmérő 6,35 mm falvastagsággal, 19,0 mm cementpalást vastagság és 25,3 mm iszapréteg-vastagság volt.

A kísérletek során a várttól eltérő jelenségeket is észleltünk: egyebek között bebizonyosodott, hogy az iszapsűrűség növekedésének nincs jelentős szerepe a

perforátor teljesítménye csökkenésében, ellenben az iszapréteg vastagságának növekedése a vártnál nagyobb mértékben csökkenti a perforátorok teljesítményét.

A különböző kísérleti együttesekben kapott l csatornahossz és d csatorna-átmérő adatokkal; 50 m, 200 m és 500 mm tápterület sugarakkal (r_r); $\frac{12 \cdot 1/4''}{2}$,

$\frac{8 \cdot 1/2''}{2}$, $\frac{6''}{2}$ kútsugarakkal (r_k); $h = 1$ méter rétegvastagságra, $n = 1$ és m rendre 5, 10, 20, 30, 50 perforációs paraméterekkel, számítógépi programok segítségével megoldották a Vezirov-formulát és a $PR = f(m, n)$ függvényeket – mint a fajlagos lövésszám és a termelékenységi hányados összefüggését – célszerű csoportosításban ábrázolták.

Ennek megfelelően a homokkő és a breccsásodott dolomit tárolókra a kút-konstrukciók számával megegyezően 8–8 olyan görbesorozat keletkezett, amely az adott együttesben a kísérletekbe bevont perforátorokkal elérhető termelékenységi hányadost tünteti fel.

A 2. ábra homokkő tárolóra vonatkozik, amikor a furatátmérő 8 1/2'', a bélésű átmérő 7'' és falvastagsága 00,5 mm, a cementpalást vastagsága 19,0 mm, az iszapréteg vastagsága *Albex-12H* és *H-14-103* típ. perforátoroknál 29,3 mm, a *Táltos* típ. perforátornál 55,3 mm, a *Tornádó Link 2 1/8''* perforátornál 53,8 mm volt.

A 3. ábra is homokkő tárolóra vonatkozik, amikor a kút-konstrukció 8 1/2'', 5 1/2''–6,98 mm, cementpalást vastagság 38,1 mm, az iszapréteg vastagságok az egyes perforátoroknál, a 2. ábránál közölt sorrendben 11,3 mm, 37,3 mm, 35,8 mm.

A 2. és 3. ábrák összevetése – egyebek között – a következőket bizonyítja:

a) A *H-14-103* típ. perforátornak nem kielégítő a rétegmegnyitási képessége: a gyakorlatban jellemző kút-konstrukciók esetén sem érhető el $PR = 0,8$ termelékenységi hányados,

b) Az *Albex-12H* és *Táltos* típusú perforátorok hatásos rétegmegnyitást eredményeznek: $PR = 0,8$ termelékenységi hányados *Albex-12H* perforátorral 21–25 perforáció/m, a *Táltos* perforátorral 14–18 perforáció/m fajlagos lövésszámmal elérhető,

c) A *Táltos* típusú perforátorok jobb rétegmegnyitást eredményeznek, mint a *Tornádó Link 2 1/8''* típusú perforátorok.

A 4. ábra szintén homokkő tárolóra vonatkozik, amikor a kút-konstrukció 6'', 4 1/2''–6,35 mm, cementpalást vastagság 19,0 mm, az iszapréteg vastagsága a *Táltos* perforátornál 25,3 mm, a *Tornado Link 2 1/8''* perforátornál 23,8 mm.

Az ábra – a 2. és 3. ábrával összevetve – azt a tényt mutatja be, hogy a kis átmérőjű mélyfúrásokban ugyanazokkal a perforátorokkal nagyobb mértékű megnyitás érhető el, mint a nagyobb átmérőjű mélyfúrásokban.

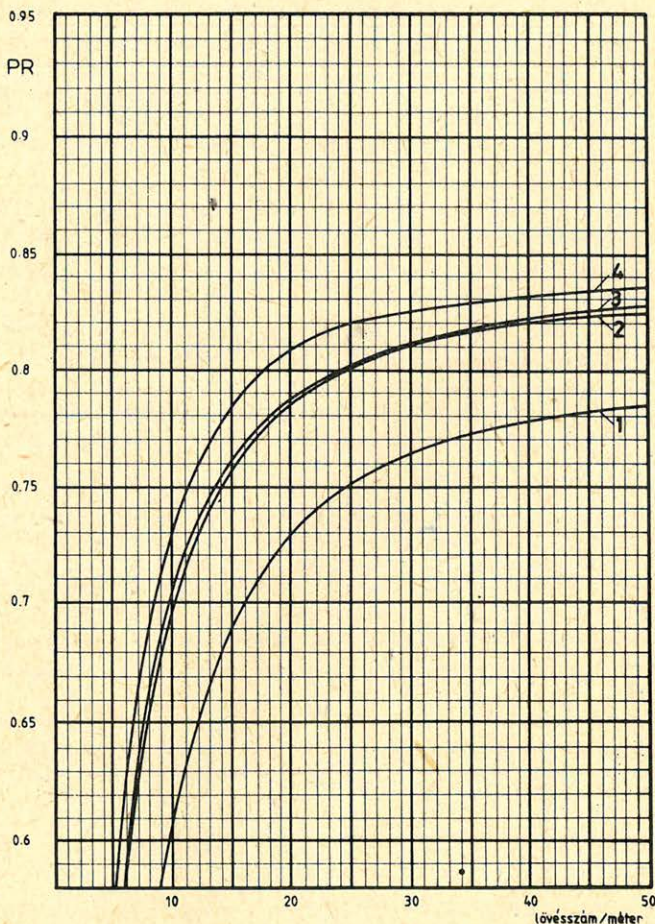
A 5. ábra breccsásodott dolomit tárolóra vonatkozik, a kísérleti együttes paraméterei a 2. ábránál közöltekkel azonosak.

Az ábra alapján az nyilvánvaló, hogy a dolomit típusú tárolók megnyitásához – a homokkő tárolókhoz képest – nagyobb fajlagos lövésszám szükséges.

A bemutatott ábrák alapján teljesen egyértelmű: a Kőolajkutató Vállalatnál a hagyományos perforátorokkal szokásos 20/m, 24/m fajlagos lövésszámának, illetve a fűzérperforátorokkal szokásos 14/m fajlagos lövésszám nem ad kielégítő

megnyitást, aránylag kis fajlagos lövésszám növeléssel jelentős termelékenységi hányados növekedés lenne elérhető. A fajlagos lövésszám növelésének technikai akadálya nincs.

A termelékenységi hányados és a ráfordítási költségek összefüggésének optimumát ma még nem ismerjük – ennek meghatározása rezervoármechanikai



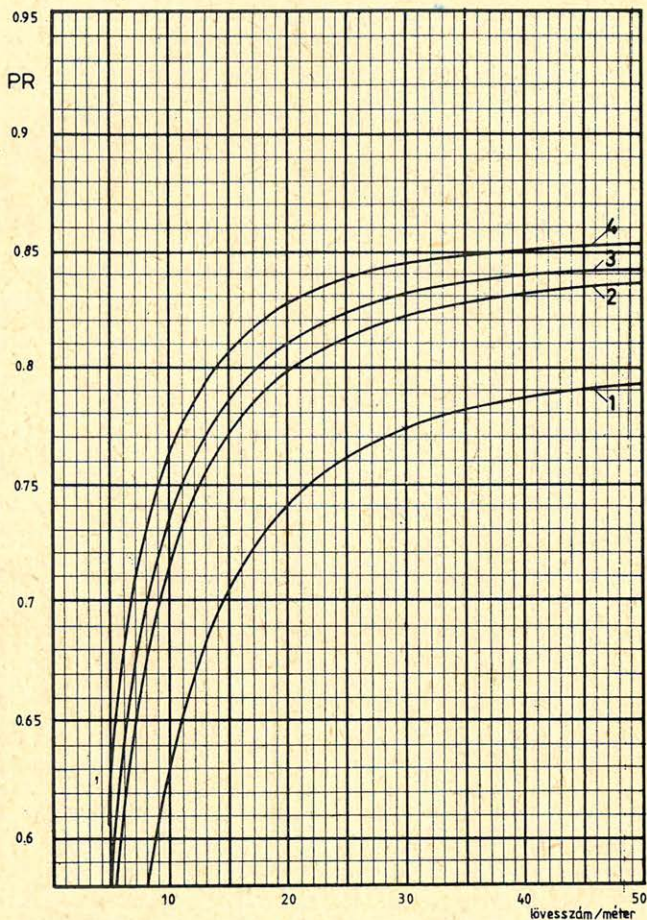
Geo 85/6-2

2. ábra. A fajlagos lövésszám és a termelékenységi hányados összefüggése különböző típusú perforátorokra homokkő tárolóban, 8 1/2" furatátmérő – 7" bélésű esetén; 1 – H-14-103 perforátor, 2 – Albex-12H perforátor, 3 – Tornado Link 2 1/8" perforátor, 4 – Táltos perforátor.

Рис. 2. Взаимосвязь между числом удельного вскрытия и показателем производительности различных типов перфораторов в песчанистом коллекторе в случае: диаметр ствола скважины – 8 1/2", обсадная колонна-7". 1 – перфоратор типа H-14-103, 2 – перфоратор типа Альбекс-12, H, 3 – перфоратор типа Торнадо Линк 2 1/8", 4 – перфоратор типа Тальтош

Fig. 2. Relationship between specific number of shots and productivity ratio for various types of charges. Formation: sandstone. Bit size: 7". 1 – charge type H14-103, 2 – charge type Albex-12H, 3 – charge type Tornado Link 2 1/8", 4 – charge type Taltos.

és gazdasági szakemberek munkáját igényli – mégis úgy véljük, hogy a feltárás alatt levő vagy később felfedezésre kerülő produktív területek teljesebb leművelése érdekében ezek rétegei megnyitását nagyobb költségigényük ellenére kizárólag nagy teljesítményű perforátorokkal, a jelenlegi megnyitási gyakorlathoz képest 50–100%-kal nagyobb fajlagos lövésszámmal kell elvégezni.



Geo 85/6-3

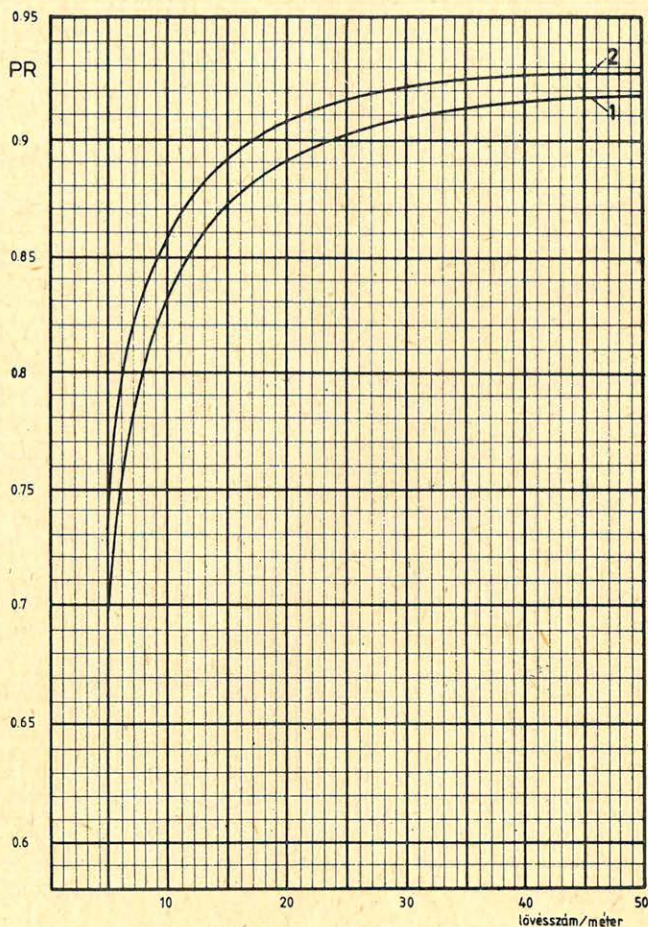
3. ábra. A fajlagos lövésszám és a termelékenységi hányados összefüggése különböző típusú perforátorokra homokkő tárolóban, 8 1/2" furatátmérő – 5 1/2" bélésű esetén; 1 – H-14-103 perforátor, 2 – Albex-12H perforátor, 3 – Tornado Link 2 1/8" perforátor, 4 – Taltos perforátor.

Рис. 3. Взаимосвязь между числом удельного вскрытия и показателем производительности различных типов перфораторов в песчаном коллекторе в случае: диаметр ствола скважины – 8 1/2", обсадная колонна 5 1/2". 1 – перфоратор типа Н-14-103, 2 – перфоратор типа Альбекс-12 Н, 3 – перфоратор типа Торнадо Линк 2 1/8", 4 – перфоратор типа Тальтош

Fig. 3. Relationship between specific number of shots and productivity ratio for various types of charges. Formation: sandstone. Bit size: 8 1/2". Casing: 5 1/2". 1 – charge type H14-103, 2 – charge type Albex-12H, 3 – charge type Tornado Link 2 1/8", 4 – charge type Taltos.

A feltáró területek kútjaiban is indokolt lenne a rétegmegnyitásokat a szokásosnál nagyobb fajlagos lövésszámmal végezni, egyidejűleg az újraperforálásokat megszüntetni.

A költségnövekedés ellensúlyozására az újraperforálások megtakarított költsége szolgálhatna.

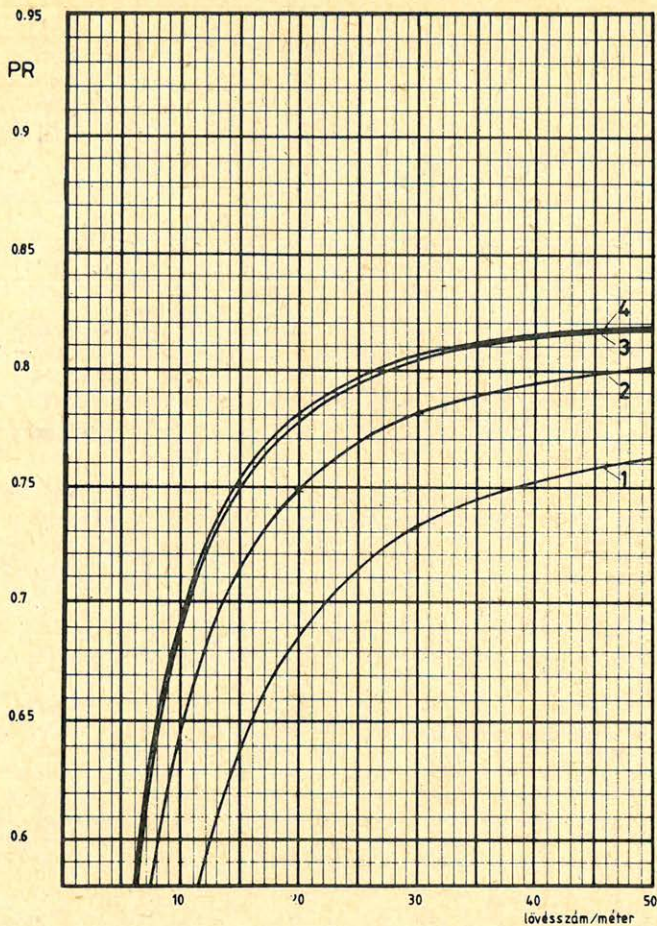


Geo 85/6-4

4. ábra. A fajlagos lövésszám és a termelékenységi hányados összefüggése különböző típusú perforátorokra homokkő tárolóban 6" furatátmérő – 4 1/2" bélésű esetében; 1 – Tornado Link 2 1/8" perforátor, 2 – Táltos perforátor.

Рис. 4. Взаимосвязь между числом удельного вскрытия и показателем производительности различных типов перфораторов в песчаном коллекторе в случае: диаметр ствола скважины – 6", обсадная колонна – 4 1/2" 1 – перфоратор типа Торнадо Линк 2 1/8", 2 – перфоратор типа Тальтош

Fig. 4. Relationship between specific number of shots and productivity ratio for various types of charges. Formation: sandstone. Bit size: 6". Casing: 4 1/2"; 1 – charge type Tornado Link 2 1/8", 2 – charge type Taltos.



Geo 85/6-5

5. ábra. A fajlagos lövesszám és a termelékenységi hányados összefüggése különböző típusú perforátorokra breccásodott dolomit tárolóban, 8 1/2" furatátmérő - 7" béléscső esetén; 1 - H-14-103 perforátor, 2 - Albex-12H perforátor, 3 - Tornado Link 2 1/8" perforátor, 4 - Táltos perforátor.

Рис. 5. Взаимосвязь между числом удельного вскрытия и показателем производительности различных типов перфораторов в брекчии доломита в случае: диаметр ствола скважины - 8 1/2", обсадная колонна - 7". 1 - перфоратор типа H-14-103, 2 - перфоратор типа Альбекс-12Н, 3 - перфоратор типа Торнадо Линк 2 1/8", 4 - перфоратор типа Тальтош

Fig. 5. Relationship between specific number of shots and Productivity ratio for various types of charges. Formation: brecciated dolomite. Bit size: 8 1/2". Casing: 7". 1 - charge type H14-103, 2 - charge type Albex-12H, 3 - charge type Tornado Link 2 1/8", 4 - charge type Taltos.

IRODALOM

- [1] Thompson G. D.: Effects of formation compressive strength on perforator performance Drill. and Prod. Proc. 225. 1962.
- [2] Vezirov S. A. és társai: Metodika vibora szpazsoba perforacii szkvaszin. Azerb. Neft. Hozj. 3. 1968.
- [3] Deres J.: A perforálási hatásosság kísérleti tanulmányozása és a kapott eredmények alkalmazása a nagyhőmérsékletű kutak rétegmegnyitásánál. Kandidátusi értekezés. 1981.
- [4] Vegyi- és Robbanóanyagipari Felügyelet: Rétegmegnyitás hatékonyságának optimalizálása. Kutatási zárójelentés. 1984.