

Djelovanje svojstava bušačkih fluida na brzinu bušenja

A. M. Paiaman, M. K. Ghassem Al-Askari, B. Salmani, B. D. Al-Anazi i M. Masihi

IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK

Zadaća ovoga rada je odrediti učinak svojstava bušačkih fluida na brzinu bušenja u ležištu koristeći dnevne izvještaje bušenja. Na osnovi naših studija na terenu, slijedeća svojstva bušačkih fluida u nejednakom omjeru utječu na brzinu bušenja: težina isplake, plastična viskoznost i koncentracija krutih čestica. Rezultat ove studije pokazuje da je čisti učinak svojstava bušačkog fluida na brzinu bušenja manji no što se smatralo. Brzina bušenja smanjuje se povećanjem plastične viskoznosti, koncentracije krutih čestica i težine isplake. Smanjenje brzine bušenja više se pripisuje povećanju dubine, zato što se povećanjem dubine povećava čvrstoća stijene i smanjuje poroznost.

Ključne riječi: Brzina bušenja, plastična viskoznost i koncentracija krutih čestica, regresija, težina isplake

1. UVOD

Čimbenici koji utječu na brzinu bušenja su brojni te je moguće da postoje bitne varijable koje su za sada nepoznate. Temeljita analiza brzine bušenja je komplicirana jer je teško potpuno izdvojiti proučavanu varijablu.

Na primjer, interpretacija terenskih podataka može uključivati neodređenosti zbog mogućnosti postojanja promjena svojstava stijena koja nisu određena. Studije učinaka bušačkog fluida uvijek su protkane problemima oko pripremanja dvije isplake koje imaju ista sva svojstva osim onoga koje se proučava.

I dok je općenito poželjno povećati brzinu bušenja, takvi se naponi ne smiju učiniti nauštrb prekomjerne kompenzacije štetnih učinaka. Najveća brzina bušenja ne mora nužno značiti najnižu cijenu po izbušenom metru. Drugi čimbenici poput povećanoga trošenja bušačega svrdla, kvara opreme itd., mogu podići troškove. Ova bi ograničenja valjalo držati na umu tijekom rasprave koja slijedi.

U bilo kojoj inženjerskoj studiji rotacijskoga bušenja, čimbenike koji utječu na brzinu bušenja prikladno je podijeliti prema slijedećoj listi:

1. Osobna učinkovitost.
2. Efikasnost rada bušačeg postrojenja.
3. Svojstva formacije (npr. čvrstoća, tvrdoća i / ili abrazivnost, stanje naprezanja podzemnih formacija, elastičnost, viskoznost ili sklonost ljepljenju, sadržaj fluida i porni tlak, poroznost i propusnost.
4. Mehanički faktori (npr. opterećenje na bušaće dlijeto, vrsta dlijeta i brzina rotacije).
5. Hidraulički faktor (npr. brzina mlaza, čišćenje dna bušotine).
6. Svojstva bušačkog fluida (npr. težina isplake, viskozitet, gubitak filtrata i koncentracija krutih čestica).

Na formaciju, koja je gotovo neovisna i nekontrolirana varijabla, do određene granice utječe hidrostatički tlak. Laboratorijski eksperimenti pokazuju da u nekim

formacijama povećani hidrostatički tlak povisuje tvrdoću formacije ili smanjuje njenu bušivost.¹

Vrsta odabranoga bušačega dlijeta, tj. da li je korišteno dlijeto s lopaticama, dijamentno dlijeto ili žrvanjsko bušaće dlijeto kao i različite strukture zubaca, su faktori koji do neke granice utječu na moguću brzinu bušenja u određenoj formaciji.

Mehanički čimbenici, težina na dlijetu i brzina rotacije, tada su u linearnom odnosu s brzinom bušenja, pod uvjetom da su hidraulički čimbenici u pravilnoj ravnoteži, kako bi se osiguralo pravilno čišćenje bušotine. Hidraulički faktori utječu na brzinu bušenja samo kada utječu na brzinu napretka bušenja ili efikasnost bušenja.

Poznato je da svojstva isplake mogu utjecati na brzinu bušenja. Ova je činjenica rano utvrđena u literaturi o bušenju i potvrđena brojnim laboratorijskim istraživanjima.⁴ Nekoliko ranijih studija usredotočenih direktno na svojstva isplake, jasno je ukazalo kako svojstva isplake utječu na brzinu bušenja.⁴

Budući da je nemoguće promijeniti jedno svojstvo isplake bez utjecaja na druga svojstva, teško je procijeniti pravi učinak pojedinog parametra na brzinu bušenja.⁶ Stoga se u ovom članku nastoji eliminirati učinke ostalih parametara (kao što su opterećenje na bušaće dlijeto-WOB, brzina rotacije-N, hidraulička karakteristika dlijeta i dubina) koji utječu na brzinu bušenja-ROP, kako bi se utvrdili utjecaji svojstva isplake.

U tu svrhu su prikupljeni terenski podaci i primjenom višestruke regresije,^{1,5,2} određene su konstante Bourgoyne-Yongove jednadžbe, a onda je korištenjem te jednadžbe normalizirana vrijednost brzine bušenja, kako bi se ustanovili učinci svojstava isplake na brzinu bušenja.⁵

2. POSTUPAK

Kako bi se postigli ciljevi ovoga projekta, upotrijebljeni su podaci s jednog naftnog polja.¹ U prvoj fazi, bili su prikupljeni podaci s bušotine izrađene između 2002. i 2006.¹ U drugoj su fazi iz ovih podataka selektirane

Tablica 1. Podaci za analize višestruke regresije¹

Ulazni podatak	Dubina (ft)	ROP (ft/hr)	h	Udarna snaga mlaza (1 000 lb)	WOB (klb/in)	OKr/min	ECD (lb/gal)	Porni gradijent (lb/gal)
1	3 231	31,3	0,25	1,86	1,57	155	9,29	9,0
2	3 592	25,3	0,25	1,82	2,86	160	9,02	9,0
3	3 608	45,0	0,50	2,35	3,29	165	8,78	9,0
4	4 021	16,5	0,50	1,77	1,86	165	9,25	9,0
5	4 156	32,2	0,44	1,85	4,00	190	8,57	9,0
6	4 156	35,6	0,38	2,16	3,14	155	9,11	9,0
7	4 251	15,9	0,50	2,00	2,57	160	8,89	9,0
8	4 267	29,5	0,38	1,96	3,00	180	8,73	9,0
9	4 500	22,0	0,38	2,22	2,86	165	9,53	9,0
10	4 749	17,6	0,63	2,24	2,57	155	8,84	9,0
11	4 789	26,2	0,00	1,88	2,43	145	9,35	9,0
12	4 808	13,9	0,50	2,18	2,57	163	9,72	9,0
13	4 858	17,1	0,38	1,69	2,33	193	9,02	9,0
14	4 979	10,6	0,50	2,15	2,14	163	9,60	9,0
15	4 982	18,2	0,38	2,37	2,86	160	9,42	9,0
16	4 999	21,4	0,63	2,40	3,14	148	9,64	9,0
17	5 005	18,3	0,31	2,16	2,14	160	9,00	9,0
18	5 196	7,3	0,25	1,91	1,07	155	9,66	9,0
19	5 225	21,7	0,63	2,46	2,29	180	9,02	9,0
20	5 241	16,1	0,50	2,36	3,00	150	9,93	9,0
21	5 261	7,1	0,38	1,68	0,97	195	9,09	9,0
22	5 287	13,6	0,25	1,64	2,14	165	10,10	9,0
23	5 405	20,8	0,38	2,24	2,57	155	9,05	9,0
24	5 451	13,4	0,50	2,11	2,71	167	9,75	9,0
25	5 674	14,8	0,50	2,16	2,86	180	9,12	9,0
26	5 911	9,8	0,63	1,71	2,53	160	9,76	9,0
27	6 180	6,9	0,50	1,58	1,86	160	10,70	9,0
28	6 754	8,7	0,75	1,73	2,57	155	10,58	9,0
29	6 760	3,3	0,63	1,65	1,00	145	11,15	9,0
30	7 032	8,0	0,31	1,91	2,29	180	10,25	9,0

potrebne informacije. Selekcija podataka ograničena je na Aghajari formaciju u kanalu bušotine od 44,45 cm (17,5 in) i žrvanjsko bušače dlijeto. Tablica 1 je sažetak podataka koji se sastoji od podataka o bušačem dlijetu, parametara bušenja, hidraulici, ocjeni zatupljenosti dlijeta (dull bit grading) i dubini vađenja bušačeg dlijeta. Ako je brzina bušenja normalizirana s obzirom na opterećenje na bušače dlijeto, brzinu rotacije, hidrauličke karakteristike dlijeta, habanje zubaca bušačeg

dlijeta i dubinu, rezultat je brzina bušenja na koju ne utječu gore navedene varijable, osim svojstava isplake. U ovu svrhu valja odabrati jednadžbu modela bušenja, kako bi se predvidio utjecaj parametara bušenja na brzinu bušenja.

Bourgoyne i Young su 1974. godine predložili relaciju, koristeći kompleksni model bušenja, za matematičku kompenzaciju promjena različitih parametara bušenja.⁴

To su predložili koristeći osam funkcija kako bi izradili model utjecaja većine spomenutih varijabli bušenja. Jednadžba ima slijedeći oblik:

$$\frac{dD}{dt} = \exp \left[\left(a_1 + \sum_{j=2}^8 a_j x_j \right) \right] \quad (1)$$

Gdje je $\exp(x)$ korišten kako bi se označila eksponencijalna funkcija e^x . Članovi $a_2 x_2$ i $a_3 x_3$ daju model utjecaja kompaktacije na brzinu bušenja a a_3 i x_3 su:

$$x_2 = 10\,000 - \text{dubina} \quad (2)$$

$$x_3 = D^{0.69} (g_p - \rho_n) \quad (3)$$

Na taj se način može pretpostaviti eksponencijalni porast brzine bušenja s porastom gradijenta pornog tlaka formacije. Eksponencijalna priroda djelovanja kompaktosti na brzinu bušenja sugerirana je teorijom kompaktosti no još nije eksperimentalno potvrđena. Stoga se može pretpostaviti eksponencijalno smanjenje brzine bušenja u formacijama normalne kompaktosti. Utjecaj kompaktosti na brzinu bušenja normaliziran je na 1,0 za normalno kompaktne formacije na 3 048 m (10 000 ft) i gradijent tlaka 9 ($g_p = 9,0$ lb/gal). Izraz $a_4 x_4$ modelira učinak diferencijalnih tlakova duž dna bušotine na brzinu bušenja. Nadalje x_4 , je definiran kao:

$$x_4 = D(g_p - \rho_c) \quad (4)$$

Prema tome se može pretpostaviti da eksponencijalni pad brzine bušenja dolazi s pretlakom na dnu bušotine. Izraz $a_5 x_5$ modelira učinak opterećenja na dlijeto i promjera dlijeta na brzinu bušenja. x_5 je definiran kao:

$$x_5 = \ln \left(\frac{w/d - (w/d)_t}{4,0 - (w/d)_t} \right) \quad (5)$$

Na taj je način pretpostavljeno da je brzina bušenja direktno proporcionalna s $(w/d)^{a_5}$. Izraz $e^{a_5 x_5}$ normaliziran na 1,0 za 1 814 kg/cm (4 000 lb/in) promjera dlijeta. Prag opterećenja na bušače dlijeto $(w/d)_t$ mora se odrediti testom bušivosti. Izraz $a_6 x_6$ predstavlja učinak brzine rotacije na brzinu bušenja. Također, x_6 je definiran kao:

$$x_6 = \ln \left(\frac{N}{100} \right) \quad (6)$$

U gornjoj relaciji se pretpostavlja da je brzina bušenja direktno proporcionalna s N^{a_6} . Izraz $a_7 x_7$ modelira učinak trošenja zubaca na brzinu bušenja. x_7 je definiran kao:

$$x_7 = -h \quad (7)$$

Gdje je h istrošeni dio širine zubca. Vrijednost a_7 ovisi prvenstveno o tipu dlijeta i tipu formacije. Izraz $e^{a_7 x_7}$ jednak je 1 kada su ili h ili a_7 jednaki nuli.

Izraz $a_8 x_8$ modelira učinak hidrauličkih karakteristika dlijeta na brzinu bušenja. x_8 je definiran kao:

$$x_8 = \ln \left(\frac{F_j}{1\,000} \right)^{a_8} \quad (8)$$

F_j je udarna snaga hidrauličkog mlaza ispod dlijeta. Iz toga se je moglo zaključiti da je brzina bušenja direktno proporcionalna s $(F_j)^{a_8}$ a na osnovi Eckel-ove⁴ eksperimentalne studije mikrodlijeta.

Za izračunavanje najboljih vrijednosti konstanti regresije a_1 do a_8 koristeći podatke prikazane u tablici 1, parametri x_2 do x_8 moraju se izračunati korištenjem jednadžbi 2 do 8 za svaki ulazni podatak. Osam jednadžbi s osam nepoznanica a_1 do a_8 tada se mogu dobiti iz x_2 do x_8 korištenjem postupka opisanog u dodatku. Kada se dobiveni sistem od osam jednadžbi riješi za osam nepoznanica, dobiju se konstante a_1 do a_8 za podatke prikazane u tablici 1.

Dobivene konstante a_1 do a_8 su:

$$a_1 = 1,522\,9, a_2 = 0,000\,34, a_3 = 0,000\,7, a_4 = 0,000\,02, a_5 = 0,81, a_6 = 0,64, a_7 = 0,561, a_8 = 0,49$$

3. ANALIZA REGRESIJE I REZULTATI

Normalizacijom brzine bušenja za težinu na dlijeto, brzinu rotacije, hidrauličke karakteristike dlijeta i dubinu, rezultirati će brzinom bušenja na koju ne djeluju težina dlijeta, brzina rotacije ili hidraulika (faktori) i dubina, koji su značajne varijable u kontroli brzine bušenja.

$$\frac{dD}{dt} = \exp (a_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + \dots + a_8 x_8)$$

$$(dD/dt)_n = (dD/dt) \cdot \exp [a_2(x_{2n} - x_2) + a_3(x_{3n} - x_3) + a_4(x_4 - x_4) + a_5(x_{5n} - x_5) + a_6(x_{6n} - x_6) + a_7(x_{7n} - x_7) + a_8(x_{8n} - x_8)]$$

Djelovanje plastičnog viskoziteta na brzinu bušenja

Za ispitivanje djelovanja plastičnog viskoziteta na brzinu bušenja (*ROP*) treba razmotriti dva slučaja. U prvom slučaju *ROP* je iscertan obzirom na plastični viskozitet. Kao što se može vidjeti na sl. 1, brzina bušenja pada s normalnim nagibom kod porasta plastičnog viskoziteta.

U drugom slučaju, normalizirana brzina bušenja (*NROP*) je iscertana u odnosu na plastični viskozitet. Kao što je prikazano na sl. 2, porastom plastičnog viskoziteta, *NROP* pada. Ali ovo smanjivanje je manje nego smanjivanje *ROP*-a.

Djelovanje koncentracije krutih čestica na brzinu bušenja

Za ispitivanje učinka krutih čestica na brzinu bušenja treba razmotriti dva slučaja. Prvi slučaj je onda kada plastična viskoznost nije konstantna. Drugim riječima cjelokupna koncentracija krutih čestica je varijabilna. Kao što je prikazano na sl. 3 i sl. 4, *ROP* i *NROP* padaju s porastom koncentracije krutih čestica.

Drugi slučaj je onda kada je plastična viskoznost konstantna. Kao što je prikazano na sl. 5 i sl. 6, kod konstantne plastične viskoznosti, *ROP* i *NROP* padaju s porastom koncentracije krutih čestica.

Djelovanje težine isplake na brzinu bušenja

Djelovanje težine isplake na brzinu bušenja i normaliziranu brzinu bušenja prikazan je na sl. 7 i sl. 8

4. ZAKLJUČCI

1. Djelovanje bušačkih fluida na brzinu bušenja, u Aghajari formaciji, je manji nego što se misli da bi trebalo biti.
2. Povećanjem plastične viskoznosti, brzina bušenja i normalizirana brzina bušenja opadaju, što su potvrdili i drugi autori⁹, ali pad brzine bušenja je veći nego pad normalizirane brzine bušenja.
3. Brzina bušenja pada s porastom težine isplake što su potvrdili i drugi autori.⁷
4. Kod konstantne plastične viskoznosti, brzina bušenja pada s porastom koncentracije krutih čestica.

5. POPIS NAZIVA

ROP= Brzina bušenja, ft/hr

D= Dubina, ft

g_p = Gradijent tlaka formacije, lb/gal

ρ_n = Normalni gradijent tlaka fluida, psi/ft

W= Opterećenje na bušače dlijeto, klb/in

d= Promjer dlijeta, in

N= Brzina rotacije, rpm

h= Frakcionalna širina zubaca

F_j = udarna snaga hidrauličkog mlaza ispod dlijeta, lb

NROP= Normalizirana brzina bušenja, ft/hr

ρ_c = Gradijent ekvivalentne gustoće cirkulirajuće isplake, psi/ft

t= Prag

w= Težina dlijeta, lb

a= Koeficijent

r= Rezidualna pogreška

G= Regresijski indeks korelacije

ob= Konstanta

c= Konstanta

ZAHVALNOST

Željeli bismo izraziti zahvalnost gosp. Mohammadianu (sektor bušenja NISOC-a) za savjete. Zahvaljujemo svim prijateljima koji su nam pomogli kod ovog rada.



Autori:

Abouzar Mirzaei Paiaman, Sharif University of Technology
Coressponding Author: Iran, Lorestan, Kuhdasht, Khaghani Ave., Postal Code: 68417-88368, Tell: +989361642229

M. K. Ghassem Al-Askari, Petroleum University of Technology

Barat Salmani, Petroleum University of Technology

Bandar Duraya Alanazi, King Abdulaziz City for Science & Technology

Mohsen Masihi, Dr., Iran, Tehran, Azadi Ave., Sharif University of Technology, PO Box: 11365-9465, Department of Chemical and Petroleum Engineering

UDK: 622.24/.63.5 : 622.276/.279 : 553.98 : 532

622.24/.63.5 rudarstvo, bušotine, isplake
622.276/.279 pridobivanje nafte i plina
553.98 ležišta nafte i plina
532 protok fluida

DODATAK

Model Bourgoyne i Younga je:

$$\frac{dD}{dt} = \exp \left(a_1 + \sum_{j=2}^8 a_j x_j \right) \quad (A-1)$$

Logaritmiranjem obje strane jednadžbe (A-1) dobivamo

$$\left[\ln \frac{dD}{dt} = a_1 + \sum_{j=2}^8 a_j x_j \right] \quad (A-2)$$

Valjanost jednadžbe (A-2) može se provjeriti u danoj formaciji za svaku dubinu za koju su prikupljeni podaci. Ako je rezidualna pogreška i -te točke r_i , definirana je kao:

$$r_i = a_1 + \sum_{j=2}^8 a_j x_j - \left[\ln \frac{dD}{dt} \right] \quad (A-3)$$

Sada, za n točaka, gdje je n bilo koji broj veći od 8, zbroj kvadrata rezidualnih pogrešaka, $\sum_{i=1}^n r_i^2$ je minimalan kada su njegove derivacije nula.

$$\frac{\partial \sum_{i=1}^n r_i^2}{\partial a_j} = \sum_{i=1}^n 2r_i \frac{\partial r_i}{\partial a_j} = \sum_{i=1}^n 2r_i x_j = 0 \quad (A-4)$$

Za $j = 1, 2, 3 \dots 8$. Konstante a_1 do a_8 mogu se dobiti rješavanjem sistema jednadžbi dobivenih razvojem $\sum_{i=1}^n r_i x_j$

Za $j = 1, 2, 3 \dots 8$. Razvojem dobivamo $\sum_{i=1}^n r_i x_j$

$$\left[n a_1 + a_2 \sum_{i=1}^n x_2 + a_3 \sum_{i=1}^n x_3 + \dots + a_8 \sum_{i=1}^n x_8 = \sum_{i=1}^n \ln \frac{dD}{dt} \right] \quad (A-5)$$

$$a_1 \sum_{i=1}^n x_2 + a_2 \sum_{i=1}^n x_2^2 + a_3 \sum_{i=1}^n x_2 x_3 + \dots + a_8 \sum_{i=1}^n x_2 x_8 = \sum_{i=1}^n x_2 \ln \frac{dD}{dt} \quad (A-6)$$

$$a_1 \sum_{i=1}^n x_3 + a_2 \sum_{i=1}^n x_3 x_2 + a_3 \sum_{i=1}^n x_3^2 + \dots + a_8 \sum_{i=1}^n x_3 x_8 = \sum_{i=1}^n x_3 \ln \frac{dD}{dt} \quad (A-7)$$

$$\left[a_1 \sum_{i=1}^n x_8 + a_2 \sum_{i=1}^n x_8 x_2 + a_3 \sum_{i=1}^n x_8 x_3 + \dots + a_8 \sum_{i=1}^n x_8^2 = \sum_{i=1}^n x_8 \ln \frac{dD}{dt} \right] \quad (A-8)$$

Točnost finalne korelacije provjerava se korištenjem regresijskog indeksa korelacije G:

$$G = \sqrt{1.0 - \frac{\sum \left[\left(\ln \frac{dD}{dt} \right)_{ob} - \left(\ln \frac{dD}{dt} \right)_c \right]^2}{\sum \left[\left(\ln \frac{dD}{dt} \right)_{ob} - \left(\ln \frac{dD}{dt} \right)_c \right]^2}} \quad (A-9)$$

Ako neke od regresivnih konstanti pretpostavimo poznatim, odgovarajući članovi $a_j x_j$ mogu se prebaciti na lijevu stranu jednadžbe A-1 i prethodna se analiza može primijeniti na preostale članove.