

NAPOMENA

PODVUČENI NASLOVI PREDSTAVLJAJU PITANJA

1. 0. KLASIFIKACIJA LEŽIŠTA UGLJKOVODONIKA

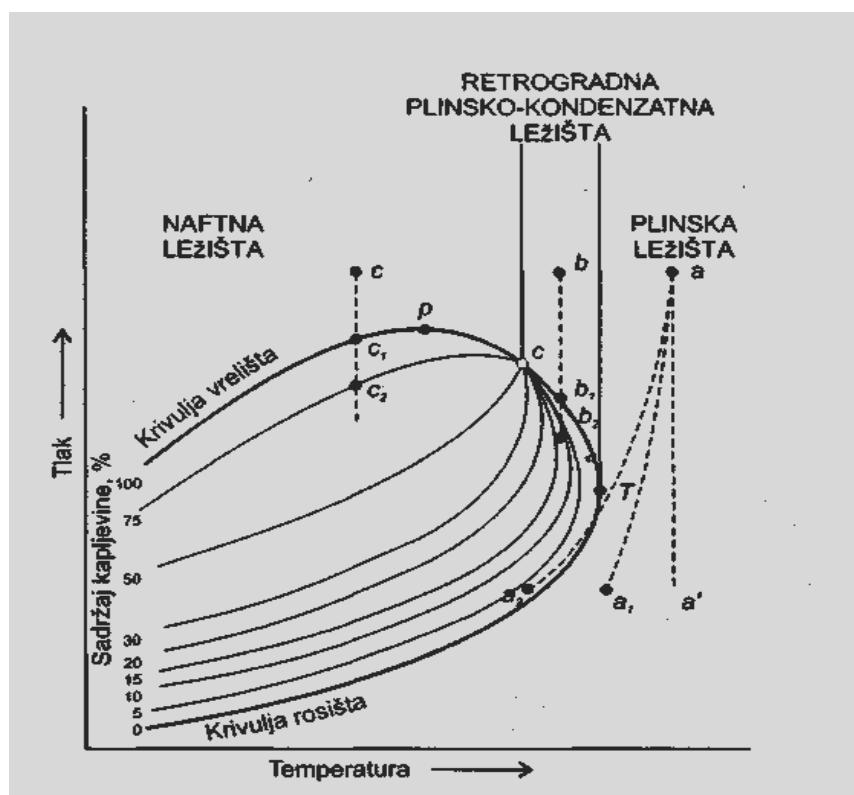
Pri površinskim uslovima, od mjernih mjeseta do skladišnog prostora i potrošača, smješe ugljovodonika se pojavljuju samo u dva agregatna stanja, u ukapljenom i plinovitom.

Promatrajući ih pod uslovima koji vladaju u ležištima, kapljevinu može činiti nafta iz naftnih ležišta i kondenzat iz plinsko-kondenzatnih ležišta i ležišta mokrog plina, dok plin može poticati iz plinskih, plinsko-kondenzatnih i naftnih ležišta, iz kojih izlazi ili kao slobodna faza ili se na putu do površine oslobađa iz otopine ugljikovodika -nafte ili kondenzata.

Bez obzira na to što se ugljovodonici na površini pojavljuju samo kao plin i kapljevina, oni mogu poticati iz različitih vrsta ležišta.

Klasifikacija ležišta ugljovodonika prema sadržaju fluida je neobično važna zbog vrste i kvalitete dobivenih fluida, te razlike u pristupu projektovanju polja, njihove razrade i sistema za podizanje fluida na površinu. Kriteriji za razvrstavanje ležišta ugljovodonika su komponentni sastav smješe ugljovodonika te pritisak i temperatura ležišta , a cijelovito su prikazani ponašanjem faza u faznom (p-T) dijagramu na slici 1.

Vrste ležišta ugljovodonika određuju se međusobnim odnosom dvofaznog područja i početnog pritiska i temperature u ležištu.



Slika 1. Fazni (p - T) dijagram smješe ugljikovodika

Krivima pritiska zasićenja i rosišta ograničeno je dvofazno područje, prema kojemu je pri određenom pritisku i temperaturi moguća istovremena prisutnost i plina i kapljevine u određenom prostoru.

Na faznom dijagramu je s P označen najviši pritisak, s C kritična tačka, a s T najviša temperatura dvofaznog područja. Krive se spajaju u kritičnoj tački, u kojoj svojstva faza, npr. gustoća, postaju identična, a iznad nje postoji samo jedan fluid.

Kada se smjesa ugljikovodika nalazi u ležištu pod uslovima određenim tačkom "a", koja se nalazi izvan dvofaznog područja jer je temperatura u ležištu viša od najviše temperature dvofaznog područja, tada se radi o jednofaznim - plinskim - ležištima.

Sniženjem pritiska pri konstantnoj temperaturi ležišta, po izotermi "a" – "a'" sastav fluida se neće mijenjati. On se neće mijenjati ni promjenom pritiska i temperature do separatorskih uslova, ako se oni nalaze u jednofaznom području (kriva "a" - „a1”).

Takva ležišta su klasificirana kao ležišta suhog plina, jer u smješi nema dovoljno ugljikovodonika težih od metana, koji bi se trebali odvajati zbog komercijalnih i transportnih razloga.

Ako se promjena pritiska i temperature odvija po krivoj "a" - "a2", dolaskom smješe ugljikovodonika do separatorskih uslova, koji se nalaze u dvofaznom području, jedan njihov dio će se kondenzirati i na površinu doći ukaplen, bez obzira na to što se pod ležišnim uvjetima nalaze u jednofaznom, plinovitom stanju.

Takav plin sadrži i ugljikovodonika teže od metana, koji se moraju odvajati zbog komercijalnih i transportnih razloga. Takva ležišta su klasificirana kao ležišta mokrog plina.

Kada se smjesa ugljikovodonika nalazi u ležištu pod uslovima određenim tačkom "b", koja se nalazi u jednofaznom području ali iznad dvofaznog područja, između kritične tačke i najviše temperature dvofaznog područja, tada se radi o plinsko-kondenzatnim ležištima.

Osnovna je njihova karakteristika da se pod ležišnim uslovima nalaze u jednofaznom području-plinovitom stanju, ali se izotermičkom promjenom pritiska ulazi u dvofazno područje u tački "b1".

U rasponu sniženja pritiska od "b1" do "b2", smješa ugljikovodonika prolazi kroz područje retrogradne kondenzacije, u kojem se dio težih ugljikovodonika kondenzuje i veže uz stijenke pora u obliku filma, koji tu ostaje nepokretan do kritičnog zasićenja, koje se obično ne postiže kroz cijelo vrijeme iskorištanja ležišta, te čini gubitak ugljikovodonika, odnosno, smanjenje njihova konačnog iscrpka.

Popratna pojava te faze iskorištanja ležišta je povećani omjer proizvedenog plina i kondenzata.

Dalnjim izotermičkim sniženjem pritiska u ležištu dolazi do pojave postupnog isparavanja ranije formiranog kondenzata.

Kada se smješa ugljikovodonika nalazi u ležištu pod pritiskom i temperaturom nižim od kritičnih, tada se radi o naftnim ležištima.

Prema odnosu ležišnog pritiska i pritiska zasićenja te međusobnom odnosu plinovite i kapljive faze, naftna ležišta mogu biti nezasićena (c), zasićena (c1) i prezasićena (c2).

U nezasićenim ležištima uspostavljeni su takvi odnosi pritiska i temperature da bi se u nafti mogla otopiti još određena količina plina kada bi ga bilo u zamci.

U zasićenim ležištima se pri originalnom pritisku i temperaturi u nafti otopio sav plin, pa je taj pritisak nazvan pritiskom zasićenja.

Prezasićena ležišta čine dvofazna ležišta koja su sastavljena od naftne zone nadsvodene plinskom zonom ili plinskom kapom.

Uslov za formiranja takvog tipa ležišta su pritisak i temperatura, koji omogućavaju otapanje ukupne raspoložive količine plina u nafti.

2.0 ENERGETSKI REŽIMI ISKORIŠTAVANJA LEŽIŠTA

Strujanje fluida u pornom sistemu ležišta u toku njegova iskorištanja posljedica je oslobađanja originalne energije što je pohranjena u ležištu i/ili unošenja energije u ležište izvana.

Prema izvoru originalne energije, postoji nekoliko režima iskorištanja ležišta, koji se u praksi najčešće susreću u različitim kombinacijama, a ovise o vrstama ležišta i njihovu okruženju.

2.1. NAFTNA LEŽIŠTA

U naftnim ležištima je, prema spomenutim kriterijima i uslovima pod kojima se odvija proticanje nafte u pornom prostoru, moguć razvoj pet vrsta režima iskorištanja i velikog broja njihovih kombinacija.

To su:

elastični režim,

režim otopljenog plina,

režim plinske kape, vodonaporni režim i

gravitacijski režim.

S početkom proizvodnje nafte u ležištu dolazi do sniženja pritiska najprije u blizini kanala bušotina, a potom u cijelom njegovu prostoru.

To sniženje pritiska izaziva premještanje nafta iz ležišta u kanal bušotina pod složenim uslovima, jer i nafta, vezana voda i stijena sabijeni, i pod visokim pritiskom zauzimaju manji prostor nego pod niskim pritiskom.

Sniženjem pritiska nafta, voda i stijena se šire, što u kombinaciji ima ograničen uticaj na proizvodnju.

U praksi se nafta najčešće premješta kroz porni prostor prema bušotinama pod uticajem širenja plina u ležištu i vode izvan ležišta.

Plin može dolaziti iz dva izvora:

iz nafte u kojoj je otopljen pod visokim pritiskom i oslobođen iz nje pri nižem pritisku i primarne plinske kape u kojoj se, kao slobodni plin, pri ležišnim uslovima nalazi iznad naftne zone.

Voda može dolaziti u naftno ležište izvana, iz akvifera kojim je okruženo ležište nafte.

Ležišta u kojima se sniženjem pritiska oslobođa plin iz nafte i šireći se, potiskuje naftu prema bušotinama, nazivaju se ležišta s režimom otopljenog plina.

Nafta se potiskuje širenjem plina u primarnoj plinskoj kapi u ležištima s režimom plinske kape, a ako se potiskuje širenjem vode iz akvifera u naftno ležište, tada se radi o ležištima s vodonapornim režimom.

2.1.1. ELASTIČNI REŽIM

Elastični režim se javlja u nezasićenim naftnim ležištima, i to samo u rasponu sniženja pritiska od početne vrijednosti do pritiska zasićenja.

Takva su ležišta bez plinske kape i obično su okružena malim vodenim bazenom, pa je uticaj vodonapornog režima zanemariv.

Iskorištavanje ležišta se odvija pod djelovanjem kompresibilnosti (stlačivosti) stijene i u njoj prisutnih tečnosti: naftе i vezane vode.

Proizvodnjom naftе u ležištu dolazi do sniženja pritiska, čime se izaziva širenje preostale naftе, vezane vode i stijene i istiskivanje novih količina naftе iz pornog sistema zbog niskih vrijednosti ovih koeficijenata sabijanja cijelog sistema:

$$\text{stijena (pješčenjak i vapnenac)} = 4,40 - 14,50 \times 10^{-5} \text{ bar-1}$$

$$\text{nezasićena naftа} = 7,25 - 145,04 \times 10^{-5} \text{ bar-1}$$

$$\text{voda} = 2,90 - 5,80 \times 10^{-5} \text{ bar-1}$$

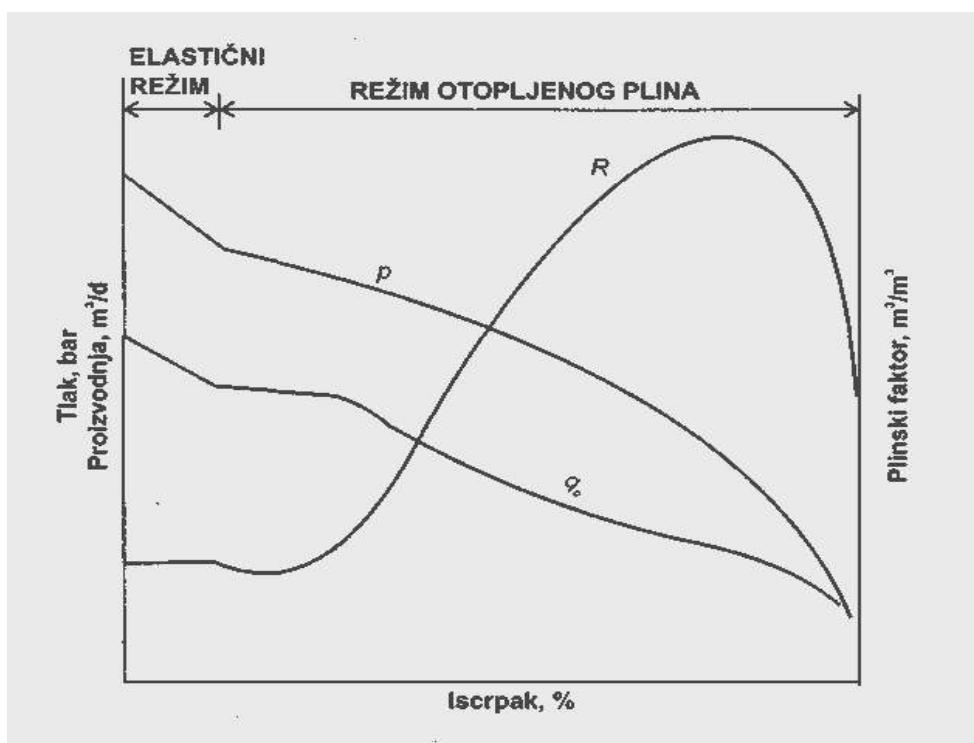
Širenje tečnosti i stijene nije efikasan izvor energije, pa se u periodu djelovanja elastičnog režima iskorištavanja može očekivati mali iscrpk (pridobivi dio) i naftе i plina, između 2,0 i 5,0%, ovisno o odnosima početnih pritisaka i pritisaka zasićenja, s prosječnom vrijednosti 3,0%.

Karakteristike elastičnog režima su, uz mali iscrpk, brzo snižavanje pritiska u ležištu i konstantan omjer proizvedenog plina i naftе (plinski faktor).

Djelovanje tog režima je kratkotrajno, osim ako je početni pritisak ležišta znatno viši od pritiska zasićenja ili ako je, uz elastični režim, prisutan i vodonaporni režim, koji onemogućava sniženje pritiska u ležištu ispod vrijednosti pritiska zasićenja.

Najčešće se javlja u ležištima koja se najvećim dijelom iskorištavaju pod djelovanjem režima otopljenog plina, što je ilustrirano slikom 2.

Slika



2-

Karakteristike ponašanja ležišta pod djelovanjem elastičnog režima i režima otopljenog plina

Za računanje koeficijenta iscrpka naftе kod elastičnog režima služi jednačina materijalnog uravnoveženja u klasičnom obliku:

$$\frac{N_p}{N} = c_c \cdot (p_i - p_b) \cdot \frac{B_{oi}}{B_{ob}} \cdot 100, \% \quad 1$$

gdje je : N-otkrivena količina naftе ,m³

Np-ukupno proizvedena količina naftе, m³

cc - efektivna kompresibilnost sistema, bar-1

pi - početni pritisak u ležištu, bar

pb – pritisak zasićenja nafte, bar

Boi – zapreminska koeficijent nafte kod početnog pritiska
ležišta

Bob - zapreminska koeficijent nafte pri pritisku zasićenja.

Efektivna kompresibilnost se izračunava po jednačini 2

$$c_c = \frac{c_t}{1 - S_{wc}} = \frac{c_o \cdot S_o + c_w \cdot S_w + c_g \cdot S_g + c_f}{1 - S_{wc}}$$

gdje je

ct-ukupna kompresibilnost, bar-1

co- kompresibilnost nafta , bar-1

cw- kompresibilnost vode, bar-1

cg- kompresibilnost gasa, bar-1

cf – kompresibilnost stijena, bar-1

So- zasićenje naftom, % dij.jed

Sw-zasićenje vodom, % dij.jed

Sg- zasićenje gasom, % dij.jed

Swc-kritično zasićenje vodom, % dij.jed

Tako da ako je u ležištu pokretljiva samo nafta (kao u našem slučaju) njezina efektivna kompresibilnost je jednaka:

$$c_c = \frac{c_t}{1 - S_{wc}} = \frac{c_t}{S_o}$$

Koeficijenti ukupne i efektivne kompresibilnosti su bitni pri projektovanju i praćenju procesa iskorištavanja ležišta

Među ostalim primjenjuju se i kao umnožak s koeficijentom šupljikavosti ($c \cdot \varphi$) u konstanti difuzije, koja je sastavni dio jednačina kojima se opisuje neustaljeno proticanje fluida u ležištima

2.1.2. REŽIM OTOPLJENOG PLINA

Osnovni izvor energije u ležištima s režimom otopljenog plina je koeficijent kompresibilnosti(stlačivost)i oslobođenog plina iz nafte.

Sniženjem pritiska u ležištu ispod vrijednosti pritiska zasićenja, što se događa u nezasićenim i zasićenim ležištima bez akvifera ili vodenog bazena kojima bi mogla biti okružena, dolazi do oslobođanja plina iz otopine s naftom, pri čemu se on širi i potiskuje naftu prema dnu proizvodnih bušotina.

Prepoznatljive su tri faze:

u prvoj fazi oslobođeni plin, kao nekontinuirana faza u ležištu, svojim širenjem potiskuje naftu klipnim djelovanjem u područja sniženog pritiska prema dnu bušotina, pri čemu su zamjetljivi blago sniženje pritiska i gotovo konstantan omjer proizvedenog plina i nafta. Plinski faktor može biti i niži od početne količine plina otopljenog u nafti zbog zaostajanja oslobođenog plina u ležištu kao nekontinuirane faze ($krg = 0$);
u drugoj fazi, daljnijem sniženjem pritiska, iz otopine se oslobađaju sve veće količine plina i dolazi do pojave kritičnog zasićenja ležišta plinom, pri kojem plin počinje po ležištu strujati kao kontinuirana faza zajedno sa naftom, a obično se kreće između 2 i 6% od zapremine pora.

Kako se koncentracija oslobođenog plina u ležištu povećava, tako se povećava relativna propusnost stijene za plin, dok se za naftu smanjuje, i u dvofaznom protoku plin postaje dominantna faza.

Više ne potiskuje naftu, već se probija kroz nju po porama većeg promjera i svojom strujom je povlači prema proizvodnim bušotinama.

U ležištu ostaju velike količine nafte kao posljedica njezina zarobljavanja u porama manjeg promjera i pogoršanja svojstava, gustoće i viskoznosti, izazvanog sniženjem pritiska.

Sve manja efikasnost djelovanja plina izražena je istovremenim povećanjem proizvodnje plina i smanjenjem proizvodnje nafte, te kontinuiranim snižavanjem pritiska u ležištu;

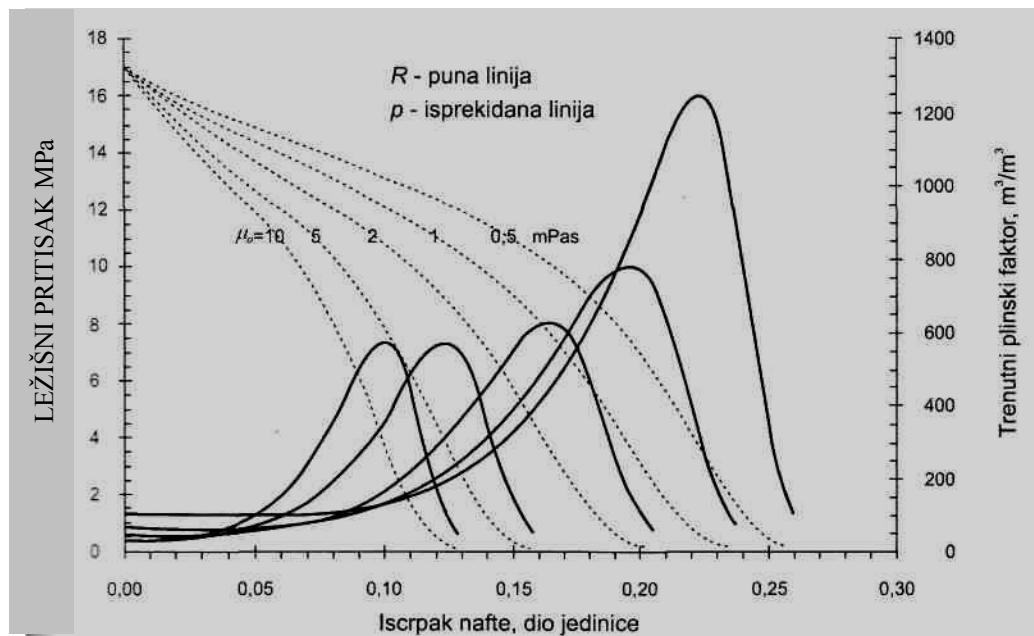
u trećoj, završnoj, fazi iskorištavanja ležišta nastavlja se međusobno ovisni proces sniženja pritiska i sve veći prodor novih količina oslobođenog plina do trenutka kada se iz otopine oslobađa manje plina nego što ga se proizvodi. Tada dolazi do naglog sniženja pritiska i proizvodnje sve do prestanka iskorištavanja ležišta.

Na ležištima koja se iskorištavaju pod uticajem režima otopljenog plina, proizvodnja vode je zanemariva ili je uopće nema, a zbog razmjerne naglog sniženja ležišnog pritiska, rano se javlja potreba za uvođenjem mehaničkog podizanja nafte na površinu dubinskim sisaljkama ili plinskim liftom.

Iscrpak nafte koji se može postići na ležištima pod uticajem režima otopljenog plina, kreće se, prema slici 3, ovisno o njezinoj viskoznosti, između 12,0 i 25,0% s prosječnom vrijednosti od oko 18,0%, dok se iscrpak

naftnog plina može približiti vrijednosti od 80,0%.

Prema toj slici je iscrpk nafte veći što je ona manje viskozna, i obrnuto. Podaci prikazani na toj slici predstavljaju međusobne ovisnosti iscrpka, pritiska i plinskog faktora.



Slika 3.- Karakteristike ponašanja ležišta s naftama različitih viskoznosti pod uticajem režima otopljenog plina (R- proizvodni odnos plina i nafte, p-pritisak, μ_0 -dinamička viskoznost nafte)

Većina analitičkih metoda za procjenjivanja koeficijenta iscrpka nafte u ležištima s režimom otopljenog plina temelji se na jednačini materijalnog uravnovešenja uz ove pretpostavke:

jednaka šupljikavost (poroznost), zasićenje fluidima i relativne propusnosti po cijelom ležištu;

jednak pritisak po cijelom ležištu u naftnoj i, eventualnoj, plinskoj zoni. To znači da su po cijelom ležištu zapreminske koeficijenti nafte i plina, viskoznost nafte i plina i količina otopljenog plina u nafti konstantne vrijednosti;

zanemarivo gravitacijsko odvajanje fluida;

kroz cijelo vrijeme postoji ravnoteža između naftne i plinske faze, i

nema pritoka vode a zanemariva je i njezina proizvodnja.

Najčešće se upotrebljavaju ove analitičke metode:

Muskatova metoda, koja se temelji na jednačini materijalnog uravnovešenja preuređenoj u diferencijalnom obliku, za čiju su primjenu potrebni podaci relativnim propusnostima stijene za plin i naftu.

Pirsonova metoda, koja se temelji na Schilthuisovoj jednačini materijalnog uravnovešenja preuređenoj u obliku konačnih diferencija.

Tracyjeva ili Tarnerova metoda, koja se temelji na jednačini materijalnog uravnovešenja, pri čemu se grupiraju pritisak i od njega zavisne vrijednosti.

Humbleova (Schilthuisova) metoda, temelji se na Schilthuisovoj jednačini materijalnog uravnovešenja. Pri predviđanju buduće proizvodnje, jednačina se koristi kod početnog i nekih odabranih ležišnih uslova.

Od nabrojanih metoda detaljnije je obrađena Muskatova metoda konačnih diferencija. Sastoji se od istovremenog rješavanja metodom pokušaja jednačina:

materijalnog uravnovešenja, preuređenoj u diferencijalni oblik, po kojoj se računa prirast iscrpka nafte u zadanim intervalu smanjenog pritiska:

$$\left(\Delta \frac{N_p}{N} \right)_i = \frac{\left[1 - \left(\frac{N_p}{N} \right)_{i-1} \right] \cdot \Delta \left(\frac{B_o}{B_g} - R_s \right) - B_{ob} \cdot \Delta \frac{1}{B_g}}{\left(\frac{B_o}{B_g} - R_s \right) + R_s}, \text{dij.jed}$$

..4

gdje je

Rs- količina otopljenog plina u nafti

Bo- zapreminske koeficijent nafte

zasićenja ležišta naftom (S0) ili kapljevinom (SI) u čijim su zavisnostima dane relativne propusnosti za plin i naftu:

$$S_o = \frac{\text{preostala zapremina nafte}}{\text{ukupna porna zapremina zas. naftom}} = \frac{(N - N_p) \cdot B_o}{\frac{N \cdot B_{ob}}{1 - S_{wi}}} = \\ = \left(1 - \frac{N_p}{N}\right) \cdot \frac{B_o}{B_{ob}} \cdot (1 - S_{wi}), \text{dij. jed}$$

$$S_l = S_o + S_{wi}, \text{dij. jed} \quad6$$

Ako dođe do formiranja sekundarne kape, tada bi se ukupna porna zapremina morala korigovati na njezinu veličinu

$$S_o' = \frac{\left(1 - \frac{N_p}{N}\right) \cdot \frac{B_o}{B_{ob}} \cdot (1 - S_{wi})}{1 - m'}, \text{dij. jed}$$

trenutnog plinskog faktora

$$R = \frac{k_{rg}}{k_{ro}} \cdot \frac{\mu_o}{\mu_g} \cdot \frac{B_o}{B_g} + R_s$$

gdje je

krg- relativna propusnost za plin

kro- relativna propusnost za naftu

μ_o - dinamička viskoznost nafte, Pa·s

μ_g - dinamička viskoznost plina, Pa·s

prosječne vrijednosti plinskog faktora

$$\bar{R} = \frac{R_i + R_{i-1}}{2} \quad9$$

Potrebni podaci ovom slučaju su o

- viskoznostima nafte i plina,

- PVT svojstvima i

- relativnim propusnostima stijena za plin i naftu.

Obično su teže dostupni podaci relativnim propusnostima. Određuju se laboratorijskim mjeranjima na originalnim uzorcima stijena.

Ako su zbog bilo čega takvi podaci nedostupni tada se odnosi relativnih propusnosti plina i nafte mogu odrediti preko iskustvenih grupa krivih za ležišta izgrađena od pješčenjaka I karbonata

2.1.3. REŽIM PLINSKE KAPE

Ležišta s režimom plinske kape pripadaju prezasićenom tipu naftnih ležišta, u kojima je naftna zona nadsvođena plinskom zonom ili plinskom kapom.

U takvim ležištima, uz istiskivanje nafte oslobođenim plinom, postoji i dodatno istiskivanje nafte sabijenim plinom u vrhu strukture.

Ako je zapremina slobodnog plina dovoljno velika da svojim širenjem nadvladava druge izvore energije, kao što je širenje otopljenoga plina, tada je primarni mehanizam iskoriščavanja ležišta režim plinske kape.

Naftna zona se podvrgava početnoj depresiji sve dok gradijent pritiska ne dosegne plinsku kapu. Tada se plin počinje širiti i potiskivati naftu prema proizvodnim buštinama.

Ako je plinska kapa dovoljno velika, naftna zona će biti podvrgnuta mimalnom sniženju pritiska i obroci proizvodnje nafte će ostati konstantni sve dok se plinska kapa ne proširi do otvorenih intervala u proizvodnim buštinama.

Time se iz nafte oslobađa manja količina plina pa joj viskoznost ostaje niža, što je osnovni preduslov djelotvornog istiskivanja nafte plinom.

U tom periodu iskorištavanja ležišta postiže se znatno veći iscrpak nego pod djelovanjem režima otopljenog plina.

Nakon prodora plina dolazi do promjene zasićenja i intenzivnijeg sniženja pritiska u naftnoj zoni. Dominira slobodni plin, što izaziva povećanje relativne propusnosti stijene za plin i smanjenje relativne propusnosti stijene za naftu, odnosno, sve veću proizvodnju plina i sve manju proizvodnju nafte.

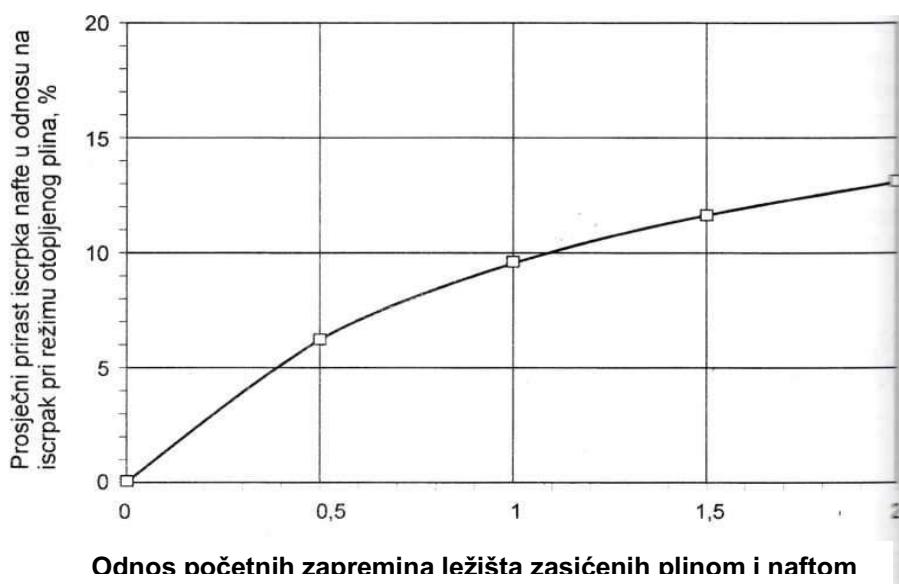
Prijevremeni prodori plina i stvaranje plinskih konusa posljedica su heterogenosti ležišta i velike razlike u pokretljivosti (viskoznostima) nafte i plina.

Ako je plinska kapa manjih dimenzija, i ako svojim utjecajem ne može spriječiti sniženje pritiska u ležištu, tada će režim otopljenog plina pomagati energiji slobodnog plina i u ležištu će se razvijati kombinirani režim iskorištavanja.

Iscrpak nafte iz ležišta s djelovanjem režima plinske kape kreće se između 20,0 i 40,0%, s prosječnom vrijednosti od 30,0%.

Iscrpak nafte iz ležišta s režimom plinske kape ovisi uglavnom o tri faktora:

ako se energija nalazi u kompresovanom plinu u plinskoj kapi, ona mora biti dovoljno velika da potisne naftu do proizvodnih bušotina. Što duže plinska kapa može podržavati pritisak u ležištu, iscrpak nafte će biti veći. To se može vidjeti na slici 4, na kojoj je prikazan prirast iscrpka nafte s obzirom na režim otopljenog plina u zavisnosti o veličini plinske kape;



Slika 4. Zavisnost prirasta iscrpka nafte o veličini plinske kape

Kako je energetski mehanizam plinske kape uvjek u kombinaciji s drugim režimima, najčešće s režimom otopljenog plina, za predviđanje ponašanja ležišta u toku iskorištavanja se također koriste analitičke metode koje se temelje na jednačini materijalnog uravnoteženja.

Za procjenu iscrpka nafte i ponašanja ležišta tokom iskorištavanja pod djelovanjem režima plinske kape najčešće se upotrebljava Tarnerova metoda, pri čemu se koristi Schilthuisova jednačina materijalnog uravnoteženja, jednačina trenutnog plinskog faktora i jednačina za računanje postojećeg zasićenja ležišta naftom ili kapljevinom.

Pri korištenju Tarnerove metode istovremeno se računaju metodom pokušaja:

ukupno proizvedene količine plina u zadanim intervalu sniženja pritiska po:

- jednačini materijalnog uravnoteženja

$$G_{pmb} = N_p \cdot R_p = \frac{N \cdot \left[(B_t - B_{ti}) + m \cdot B_{ti} \cdot \left(\frac{B_g - B_{gi}}{B_{gi}} \right) \right] - N_p \cdot (B_t - B_{ti} \cdot B_g)}{B_g} .10$$

gdje je

Bt- dvofazni zapremski koeficijent

Bti- dvofazni zapremski koeficijent pri početnim uslovima

m- odnos zapremina dijelova ležišta zasićenih plinom i naftom

Bgi-zapreminske koeficijente plina pri početnom pritisku

- jednačini u koju su uključene vrijednosti trenutnog gasnog faktora

$$G_{pRi} = \left(\frac{R_i + R_{i-1}}{2} \right) \cdot N_{pi} \quad 11$$

odgovarajuće zasićenje ležišta naftom ili kapljevinom po jednačinama 5 i 6
vrijednost trenutnog plinskog faktora po jednačini 8

2.1.4. VODONAPORNI REŽIM

Kada se glavni izvor sabijene (kompresibilne) energije nalazi u vodi kojom je naftno ležište okruženo, tada se ono iskorištava pod utjecajem vodonapornog režima. Kako je kompresibilnost vode manja od kompresibilnosti nafte, to je za uspostavu vodonapornog režima potrebna znatno veća zapremina vode od zapremine ležišta zasićenog naftom.

S početkom proizvodnje, u ležištu dolazi do sniženja pritiska. Kada se gradijent pritiska proširi do akvifera, tada započinje širenje vode koja pred sobom potiskuje naftu prema proizvodnim bušotinama. Ako je akvifer velikih dimenzija i sadrži dovoljno potisne energije, tada se može proizvesti sva pokretljiva nafta bez daljnog snižavanja pritiska.

Obroci proizvodnje nafte će biti konstantni sve dok se akvifer ne približi proizvodnim bušotinama, nakon čega dolazi do prodora vode i povećanja njezine proizvodnje, uz smanjenje proizvodnje nafte. Ako je akvifer manjih dimenzija i ne može u potpunosti nadomještavati proizvedene količine fluida, pritisak u ležištu će se smanjivati.

Kada se smanji ispod vrijednosti pritiska zasićenja, iz nafte će se početi oslobađati plin i preuzimati dio uloge u procesu istiskivanja nafte iz ležišta, odnosno, uspostaviti će se kombinirani režim iskorištavanja ležišta.

U praksi su česti slučajevi uspostavljanja lokalnih vodenih konusa oko proizvodnih bušotina, zbog čega se one brzo zavodnjavaju i zatvaraju. Posljedica toga su ogromne količine zarobljene nafte u ležištu i mali postignuti iscrpk.

Pojavu vodenih konusa pospješuje viskozna nafta i velika propusnost ležišta u vertikalnom smjeru. Iscrpk nafte pod djelovanjem vodonapornog režima kreće se kod rubne vode između 20,0 i 40,0% sa prosječnom vrijednosti od 30,0%, a kod podinske vode između 35,0 i 60,0%, s prosječnom vrijednosti od 45,0%. Osnovna metoda za procjenjivanje efikasnosti vodonapornog režima je praćenje pomjeranja razdjelnice vode i nafte. Za to je potreban duži proizvodni vijek ležišta s vidljivim pomjeranjem razdjelnice te odgovarajući načini praćenja njezina pomjeranja.

Ukupni iscrpk nafte se može dobro prognozirati s vremenskim odnosom proizvedene količine nafte i odnosa zavodnjene i početne zapremine ležišta.

Faktori koji najviše utiču na iscrpk nafte su:

pojave vodenih konusa, uzrokovanе velikim radnim depresijama
prodori vode, uzrokovan heterogenošću ležišta i velikim razlikama između pokretljivosti vode \ nafte, koji neposredno utiču na graničnu rentabilnost iskorištavanja ležišta.

Ako je nemoguće praćenje pomjeranja razdjelnice vode i nafte, nemoguće je i direktno procjenjivanje koeficijenta iscrpka nafte.

U takvim slučajevima se preporučuju teoretske metode. Jedna od njih je VVegeova metoda . koja se sastoji od računanja frakcionalnog proticanja vode u zavisnosti od zasićenja ležišta vodom,

Pr istiskivanju nafte u vodoravno položenim ležištima zanemaruje se djelovanje i gravitacijskih i kapilarnih sila, nakon čega jednačina frakcionalnog proticanja vode glasi:

$$f_w = \frac{1}{1 + \frac{\mu_w}{\mu_o} \cdot \frac{k_{ro}}{k_{rw}}} \text{, dij. jed.} \quad 12$$

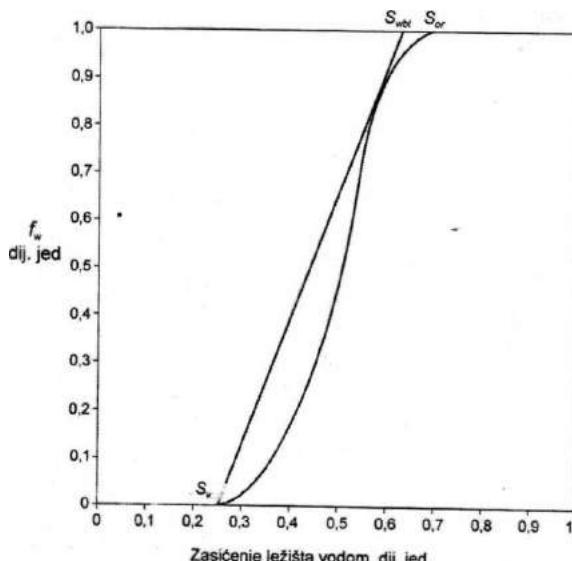
Gdje je:
kro - relativna propusnost za naftu

krw - relativna propusnost za vodu

μ_o - dinačka viskoznost nafte, Pa·s

μ_w - dinačka viskoznost vode, Pa·s

Oblik krive frakcionog proticanja izračunate po prethodnoj jednačini kod vodonapornog režima dat je slikom 5



Slika 5-Uobičajeni oblik krive frakcionalnog protjecanja vode

Ograničena je kritičnim zasićenjem ležišta vodom (Swc) i preostalim zasićenjem ležišta naftom (Sor)

Oblik krive ovisi o viskoznostima nafte i vode.

Količina nafte koja se može dobiti do prodora vode u proizvodne bušotine dobiva i a polaganjem tangente iz kritičnog zasićenja vodom na krivu frakcionalnog proticanja.

Presjecištem tangente i apscise kod $f_w = 1$ dobiva se prosječno zasićenje ležišta vodom prije i u trenutku

njezina prodora (\overline{S}_{wbt}), kada prestaje klipno potiskivanje nafte vodom.

Nakon toga se nafta povlači po pornom sistemu strujom vode, a prirast iscrpka nakon prodora vode dobiva se polaganjem tangente po ostatku f_w , krive do Sor.

Najveći dio nafte se dobiva pod najpovoljnijim ekonomskim uslovima do prodora vode , pa je:

$$N_{pbt} = \overline{S}_{wbt} - S_{wc},$$

ili izraženo pomoću iscrpka

$$\frac{N_{pbt}}{N} = \frac{\frac{S_{oi}}{B_{oi}} - \frac{(1 - \overline{S}_{wbt})}{B_{ov}}}{\frac{S_{oi}}{B_{oi}}} \cdot 100, \%$$

Ova jednačina vrijedi za homogena ležišta i ravnomjerno premještanje razdjelnice vode i nafte.

Kako su u prirodi sve naslage manje ili više heterogene a svojstva vode i nafte (viskoznost) različita, u tu jednačinu se moraju ugraditi članovi kojima se smanjuje iscrpk nafte s obzirom na idealne (homogene) uslove.

To su

heterogenost ležišta, koja se izražava varijancom propusnosti – Vvp i

odnosom pokredjivosti vode i nafte -M, od kojih zavisi koeficijent zahvata ležišta vodom.

Na osnovu svega izloženog realni očekivani iscrpk nafte se izračunava po jednačini:

$$\frac{N_{pbt}}{N} = \frac{\frac{S_{oi}}{B_{oi}} - \frac{(1 - \overline{S}_{wbt})}{B_{ov}}}{\frac{S_{oi}}{B_{oi}}} \cdot \frac{1 - V_{vp}^2}{M} \cdot 100, \%$$

gdje je Bov- zapreminske koeficijent nafte u trenutku prodora vode

Boi- zapreminske koeficijent nafte kod početnog pritiska u ležištu \overline{S}_{wbt} -prosječno zasićenje ležišta vodom u trenutku njezina prodora,dij.jed

Soi- početno zasićenje ležišta naftom,dij.jed.

2.1.5. GRAVITACIJSKI REŽIM

Pod gravitacijskim režimom ih odvajanjem razumijeva se vertikalno odvajanje fluida pod uticajem Zemljine sile teže i razlike njihovih gustoća, pa se pod tim nazivom često prepoznaju poboljšanja ili modifikacije svih vrsta režima.

Gravitacijski mehanizam može dati znatan doprinos iscrpku nafte.

Ako su povoljni uslovi, čak se i iz ležišta s originalnim režimom otopljenog plina može gravitacijskim mehanizmom postići veći iscrpk dobrom kontrolom količina proizvodnje fluida. Uslovi za uspostavljanje gravitacijskog odvajanja su:

velika debljina ležišta,

velika propusnost ležišta u okomitom smjeru $(\geq 20,0 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2)$

ugao nagiba ležišta veći od 10° ,

mala viskoznost nafte,

velika razlika među gustoćama fluida i

polagani tempo proizvodnje.

Ako su ti uslovi zadovoljeni, dolazi npr. do migracije oslobođenog plina u vršne dijelove ležišta i stvaranja ili sekundarne plinske kape ih povećanja zapremine primarne plinske kape.

Time se ublažava snižavanje pritiska u ležištu i zadržava visoka vrijednost relativne propusnosti stijene za naftu, čime se postiže dugotrajnija veća proizvodnja nafte i visoki iscrpk nafte.

Tempo proizvodnje mora biti prilagođen brzini procesa odvajanja fluida, i obično je dugotrajan.

Dobrim vođenjem procesa iskorištavanja naftnih ležišta, uz gravitacijsko odvajanje fluida, mogu se postići visoki iscrpc nafte, u rasponu između 50,0 i 70,0%, s prosječnom vrijednosti od oko 60% Pri prognoziranju ponašanja ležišta sa gravitacijskim režimom i procjene konačnog iscrpka nafte iz njih presudan uticaj imaju obroci proizvodnje fluida.

Iscrpk nafte se kao i kod zavodnjavanja ležišta, i u ovom slučaju određuje krivom frakcionalnog proticanja plina koja se računa po jednačini

$$f_g = \frac{1 - \frac{q_{gr}}{q_l}}{1 + \frac{k_{ro}}{k_{rg}} \cdot \frac{\mu_g}{\mu_o}}, \text{dij.jed.} \quad 16$$

gdje je

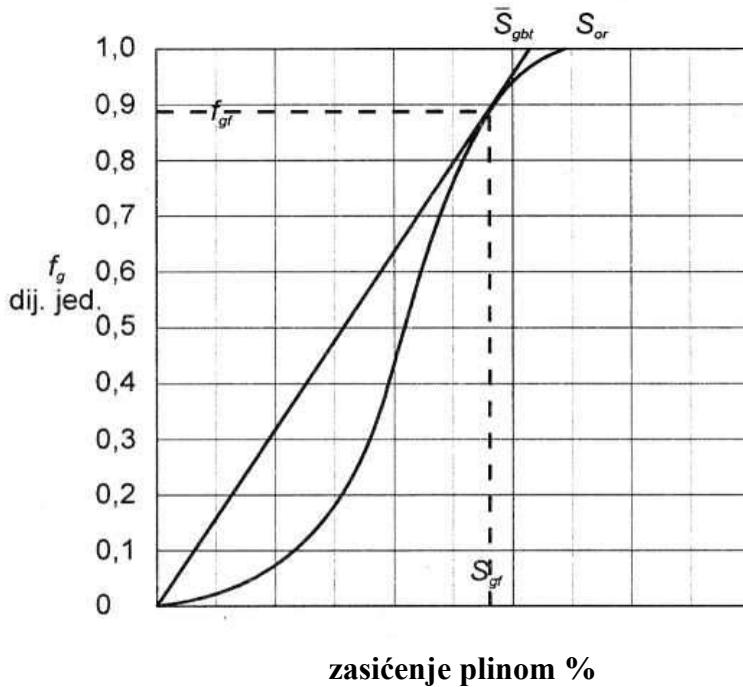
q_{gr} -gravitacijska količina proticanja pod slojnim uslovima,m³/d

q_l – početna količina proizvodnje m³/d

Kriva je S oblika (slika 6), a njezin položaj u normalnom koordinatnom sistemu zavisi, kao i kod krive frakcionalnog proticanja vode, o viskoznosti nafte i količini proizvodnje.

Kriva započinje u ishodištu koordinatnog sistema, jer se pretpostavlja da nema slobodne plinske faze u naftnoj zoni, a završava u presjecištu s apscisom kod $f_g = 1$, koje čini zasićenje ležišta nepokretnom naftom (Sor), ili maksimalnu teoretsku efikasnost istiskivanja nafte plinom.

Pridobiva količina nafte do prodora plina u bušotine dobiva se polaganjem tangente na krivu frakcionalnog proticanja plina iz ishodišta koordinatnog sistema.



Slika 6-Kriva frakcionog proticanja plina

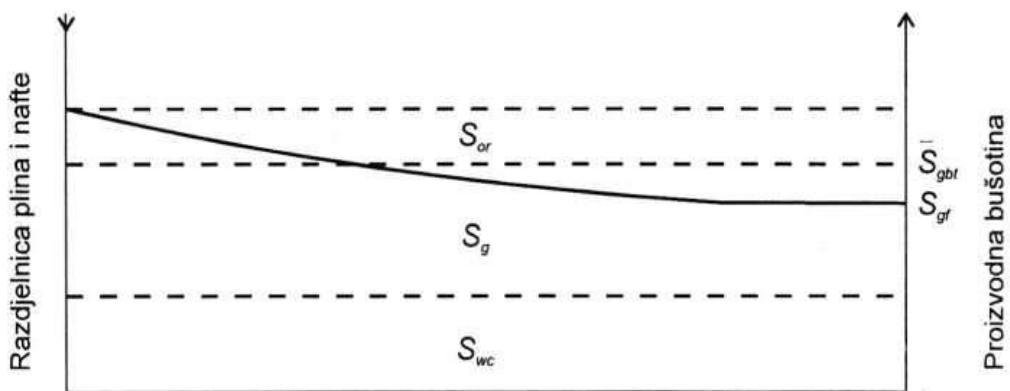
Taj period istiskivanja nafte je period najveće djelotvornosti plina, u kojemu se nafta istiskuje klipnim djelovanjem plina

Dodirna tačka tangente i krive čini zasićenje ležišta plinom na čelu plinskog jastuka (S_{gf}) i udio plina u proizvedenom fluidu (f_{gf}), izražen pri ležišnim uslovima, a presječište tangente i apscise, prosječno zasićenje

ležišta plinom (\bar{S}_{gbt}) u području između početne razdjelnice i prvog reda proizvodnih bušotina. Značenje tih zasićenja je grafički objašnjeno na slici 7.

Slika 7- Prikaz raspodjele zasićenja ležišta fluidima između početne razdjelnice plina i nafte i proizvodne bušotine

Već



konstatovano da je istiskivanje nafte plinom do njegova prodora, klipnog karaktera.

Nakon prodora, plin svojom strujom povlači naftu prema buštinama.

Prirast iscrpka nafte je mali s obzirom na prethodni period, uz veliki udio plina u proizvodnji.

Određuje se primjenom Welgeove grafičke tehnike, polaganjem tangent po krivim frakcionalnog proticanja dok se ne dosegne S_{or} ,

Pridobive količine nafte do prodora plina jednake su

$$N_{pbt} = [S_{oi} - S_{od}] \cdot E_R, m^3 \quad 17$$

gdje je

Soi- početno zasićenje ležišta naftom Soi=(1-Swi)
Sod zasićenje ležišta naftom u trenutku prodora plina

$$S_{od} = \left(1 - \overline{S}_{gbt}\right) \cdot S_{oi}$$

\overline{S}_{gbt} -prosječno zasićenje
prodorom, dij. jed.

ležišta plina u trenutku njegova

ER - ukupni koeficijent djelotvornosti istiskivanja nafte ER=EV-ED

Ev — koeficijent makroskopske djelotvornosti istiskivanja, dio zapremine ležišta zahvaćen istiskivajućim fluidom, dij. jed. ili %

ED - koeficijent mikroskopske djelotvornosti istiskivanja, dio porne zapremine zahvaćene istiskivajućim fluidom, dij. jed. ili %,

A iscrpak nafte se računa po formuli

$$\frac{N_{pbt}}{N} = \frac{\frac{S_{oi}}{B_{oi}} - \frac{S_{od}}{B_{od}}}{\frac{S_{oi}}{B_{oi}}} \cdot E_R \cdot 100, \%$$

gdje je Bod-diferencijalni zapreminski koeficijent nafte

2.1.6. KOMBINOVANI REŽIMI

U praksi se najčešće otkrivaju naftna ležišta s kombinovanim režimima iskorištavanja, s različitim udjelima pojedinih režima u procesu iskorištavanja ležišta.

Prema njihovim opisanim karakteristikama i efikasnostima u istiskivanju nafte iz porne sredine, proces iskorištavanja treba prilagoditi najefikasnijem režimu, koji će osigurati najveći iscrpak nafte:

u slučaju istovremene prisutnosti u ležištu režima otopljenog plina i plinske kape, iskorištavanje ležišta treba prilagoditi režimu plinske kape;

ako su u ležištu istovremeno prisutni režim otopljenog plina i vodonaporni režim, iskorištavanje ležišta treba prilagoditi vodonapornom režimu, i

ako su u ležištu istovremeno prisutni režim otopljenog plina, režim plinske kape i vodonaporni režim, potrebno je odrediti njihov međusobni odnos i prilagoditi se onom sa najvećim udjelom:

ako prevladava režim plinske kape, intenzivniju proizvodnju nafte treba usmjeriti na bušotine locirane na dubljim dijelovima strukture, a

ako prevladava vodonaporni režim, tada se intenzivnija proizvodnja usmjerava na bušotine locirane na višim dijelovima strukture. Pritom se ne smije dopustiti smanjenje zapremine plinske kape, što bi se moglo dogoditi premeštanjem nafte iz naftne u plinsku zonu, jer bi ta količina nafte bila trajno izgubljena.

Ponašanje ležišta s kombinovanim režimima može se prepoznati po ovim karakteristikama:

sporijem snižavanju ležišnog pritiska u nezasićenim ležištima i ležištima režimom otopljenog plina. Slab uticaj pritoka vode i širenja plinske kape nije dovoljan za podržavanje pritiska, ali u nekoj mjeri ipak usporava njegovo očekivano brzo snižavanje;

povećanom količinom vode u proizvedenoj kapljевini iz bušotina lociranih pri dnu strukture, kao posljedica pritoka vode; povećanju plinskog faktora na bušotinama lociranim pri vrhu strukture, kao posljedica širenja plina u plinskoj kapi. Prekomernom proizvodnjom slobodnog plina može se izazvati smanjenje zapremine plinske kape i pritok nafte u nju. Takt se mogu izgubiti velike količine nafte, jer je zasićenje naftom u plinskoj kapi manje od kritičnog zasićenja ili zasićenja nepokretnom naftom ($So \leq Sor$) neprekidnom snižavanju slojnog pritiska koji zahvaća sve niže dijelove strukturi, zbog čega će plinski faktor rasti i na bušotinama lociranim u nižim dijelovima strukture.

Ukupni iscrpak nafte iz ležišta s kombinovanim režimom je u pravilu veći od iscrpka iz ležišta s režimom otopljenog plina i manji od iscrpka iz ležišta s režimom plinske kape i vodonapornim režimom.

Iscrpk nafte ovisi o tome koliko se može smanjiti uticaj režima otopljenog plina efikasnijim režimima. U takvim ležištima je moguća primjena metode podržavanja pritiska u ležištu utiskivanjem ili plina ili vode, ili njihovim istodobnim utiskivanjem u vrh i dno ležišta.

Udio pojedinih režima iskorištavanja ležišta može se odrediti indeksom režima (DDI-indeks režima otopljenog plina, SDI-indeks režima plinske kape, WDI-indeks vodonapornog režima,).

Proces iskorištavanja ležišta trebalo bi u pravilu prilagođavati najefikasnijem režimu ih zastupljenjem od efikasnijih režima u odnosu na režim otopljenog plina, što proizlazi iz činjenice da je zbroj indeksa jednak jedinici:

$$DDI+SDI+WDI=1,0$$

Za ponašanje ležišta sa kombinovanim režimom prikladna je Tarnerova metoda koja se koristi i za predviđanje ponašanja ležišta sa plinskom kapom, ali u nešto izmjenjenom obliku prema vrsti prisutnih režima.

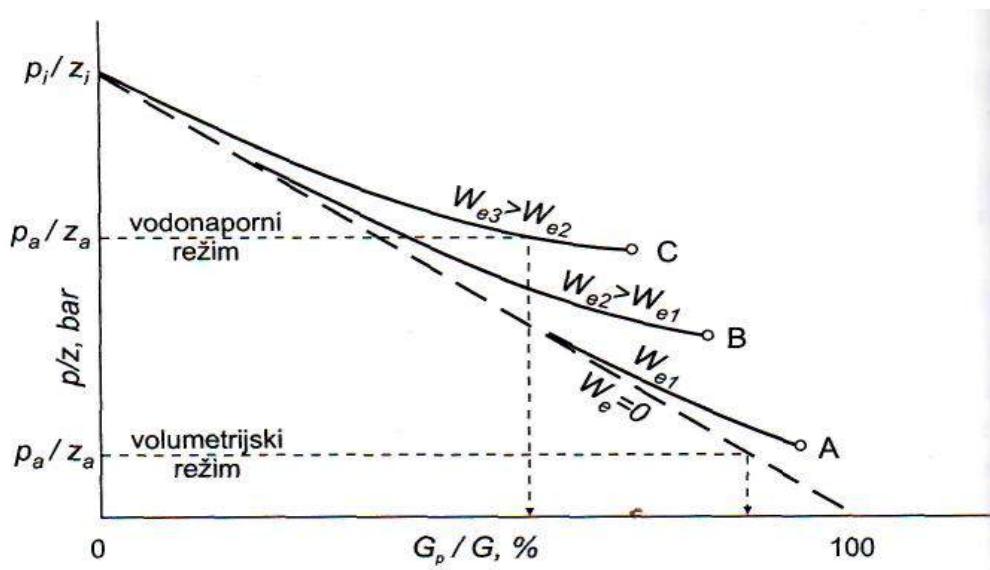
2.2. PLINSKA I PLINSKO-KONDENZATNA LEŽIŠTA

U plinskim i plinsko-kondenzatnim ležištima moguć je razvoj dvije vrsta režima iskorištanja i njihovih različitih međusobnih kombinacija:

2.2.1. ZAPREMINSKI REŽIM

Izvor energije u plinskim ležištima s zapreminskim režimom nalazi se u kompresovanom plinu i stjeni, i to u slučaju kada ispod akumulacije plina nema akvifera ili je on jako mali i bez uticaja na iskorištavanje ležišta. Za razliku od naftnih ležišta, zapreminske režime su znatno povoljniji u ovom slučaju od vodonapornog režima. Moguć iscrpk se kreće u granicama od 70-90 % i ovisi o pritisku napuštanja ležišta (pa).

Uloga pritisaka na puštanju vidljiva je na slici 8, na kojoj je prikazana ovisnost vrijednosti odnosa pritiska (p/Z) i ukupno proizvedene količine plina (Gp).



Slika 8- Ovisnost iscrpka plina o režimu iskorištavanja ležišta i količina pritoka vode (We)

Za zapreminski režim je ta ovisnost linearna, dok je za vodonaporni režim zakrivljena i upućuje na činjenicu da se konačni iscrpk plina smanjuje s povećanjem priticanja vode iz akvifera. Tempo crpljenja zavisi od broja bušotina i njihovih dopuštenih radnih kapaciteta, odnosno dopuštenim radnim depresijama na dnu bušotina. One su uslovljene čvrstoćom ležišnih stijena zbog problema vezanih uz iznošenje pijeska na površinu i abraziju proizvodnog sistema te tehnološkim kriterijima iskorištavanja ležišta, koji obuhvaćaju trajanje iskorištavanja ležišta, broj bušotina i troškove njihove izrade i opremanja.

Pridobive količine plina mogu se računati po jednačini

$$G_p = G \cdot \left[1 - \frac{p/z}{(p/z)_i} \right] \quad \text{---19}$$

gdje je G-otkrivena količina plina,m³

Ova jednačina čini pravac odnosa Gp i p/z kako je prikazano na sl.8

Pritisak napuštanja se izračunava po jednačini

$$p_a = \left(p_{tf} \right)_{\min} + \Delta p_r + \left(\overline{p_R} - p_{wf} \right) \quad 20$$

gdje je

ptf - minimalni radni pritisak na ušću bušotine dovoljan za utiskivanje plina u transportni sistem;

Δpr - gubitak pritiska u koloni uzlaznih cijevi od dna do vrha bušotine;

p_R - prosječni pritisak u ležištu, i
pwf - radni pritisak na dnu bušotine.

VODONAPORNI REŽIM

Dosad je naglašeno da je iscrpk plina iz plinskih i plinsko-kondenzatnih ležišta, koja se iskorištavaju pod djelovanjem vodonapornog režima, manji negoli iz ležišta s zapreminskim režimom. Kreće se u granicama između 40,0 i 70,0%.

Postoji nekoliko razloga za takve rezultate iskorištanja ležišta. To su:

kod jakih vodonapornih režima više od 40% plina može ostati zarobljeno iza vodenog vala pod visokim pritiskom;

fazno ponašanje smješe ugljovodonika, pri čemu jedan njihov dio kod ulaska u dvofazno područje prelazi iz plinovitog u ukapljeno stanje. Kao kapljevina, veže adhezijskim silama uz površinu kapilara i pretvara se iz pokretljive u nepokretnu - nepridobivu fazu;

- zarobljavanje plina zbog konfiguracije ležišta, lokacija i broja proizvodnih bušotina, obroka crpljenja, oštećenja naslaga oko kanala bušotina, stvaranja vodenih konusa, te smanjenje relativne propusnosti za plin zbog pojave druge faze - kondenzata.

Za računanje pridobivih zaliha plina u ležistima s vodonapornim režimom iskorištavanja može se koristiti jednačina

$$G_p = \frac{G \cdot (B_g - B_{gi}) + (W_e - W_p \cdot B_w)}{B_g}$$

gdje je

G-otkrivena količina plina,m3

We-pritok vode,m³

Wp-ukupno proizvedena količina vode,m³

Bw-zapremski koeficijent vode

U prethodnoj formuli izraz ($We - W_p B_w$) predstavlja čisti pritok vode, koji uz kompresibilnost plina slabije ili jače sudjeluje u upravljanju procesom iskorištavanja ležišta.

Problem je pri korištenju ove jednačine računanje količine pritoka ili prodor vode iz akvifera u plinsko ležište. Za prognoziranje ponašanja akvifera i ležišta ugljikovodika s vodonapornim režimom najprihvatljivija je van Everdingen - Hurstova jednačina neustaljenog proticanja

$$W_e = C \cdot \sum \Delta p \cdot Q_{tD}$$

gdje je

C-konstanta akvifera (priticanje vode), m³/bar

QtD-bezdimenzionalni pritok vode

Δp-sniženje pritiska na početnoj razdjelnici vode i plina

1

Uvrštavanjem ove jednačine u jednačinu 21 dobijamo

$$G_p = \frac{G \cdot (B_g - B_{gi}) + C \cdot \sum \Delta p \cdot Q_{tD} - W_p \cdot B_w}{B_g}$$

1.0. JEDNAČINA MATERIJALNOG URAVNOTEŽENJA

Jedina veza ležišta s površinom su bušotine u kojima se mjere pritisci i opažaju njihove promjene i preko kojih se na površinu pridobivaju ugljovodonici i voda.

Proizvedene količine tečnosti i pritisci u ležištu su osnovni i jedini pokazatelji kojima se može pratiti i kontrolisati iskorištavanje ležišta. Proizvodnjom naftе, plina i vode izaziva se u ležištu sniženje pritiska i širenje preostalih fluida. Ako su ležišta ugljovodonika hidrodinamički povezana s formacijama zasićenim vodom-akviferima, sniženjem pritiska u njih počinje doticati voda, koja u određenoj mjeri sprječava sniženje pritiska i širenje preostalih fluida. Kako je proces iskorištavanja ležišta ugljovodonika izotermički proces, intenzitet širenja preostalih ugljovodonika zavisi samo od pritiska.

Od pritiska zavise i svojstva tečnosti i stijena i to :

PVT odnosi,
gustoća,

viskoznost i
kompresibilnost.

Prema rasponu kompresibilnosti:

ležišnih stijena	0,435 - 1,450 x 10-4 bar-1
vode	0,290 - 0,580 x 10-4 bar-1
nezasićene nafte	0,725- 14,504 x 10-4 bar-1
plina pod pritiskom od 70,0 bar	130,534- 188,549 x 10-4 bar-1

plina pod pritiskom od 350,0 bar 7,252 - 29,008 x 10-4 bar-1
proizlazi da je kompresibilnost vode i stijene zanemariva u plinskim ležištima i naftnim ležištima s režimom otopljenog plina i plinske kape.

Kompresibilnost je važna kod nezasićenih naftnih ležišta i ležišta s vodonapornim režimom.

Opisana događanja u ležištima mogu se pratiti i kontrolisati primjenom jednačine materijalnog uravnoteženja.

Opšta jednačina materijalnog uravnoteženja, poznata i pod nazivom Schilthuison jednačina, koju je autor objavio 1941. godine, jednostavno je zapreminsco uravnotežavanje koje se temelji na činjenici da, budući da je zapremina ležišta nepromjenjiva, zbroj promjena zapremina nafte, slobodnog plina i vode u ležištu mora biti jednak nuli.

1.1IZVOD JEDNAČINE MATERIJALNOG URAVNOTEŽENJA

Ako se prepostavi da se cijelo vrijeme iskorištavanja u ležištu održava ravnoteža između nafte i plina otopljenog u njoj, moguće je izvesti opštu jednačinu materijalnog uravnoteženja kojom su obuhvaćene proizvedene količine nafte plina i vode , srednji pritisak ležišta, količina pritoka vode iz akvifera i, konačno, početne zalihe nafte i plina u ležištima

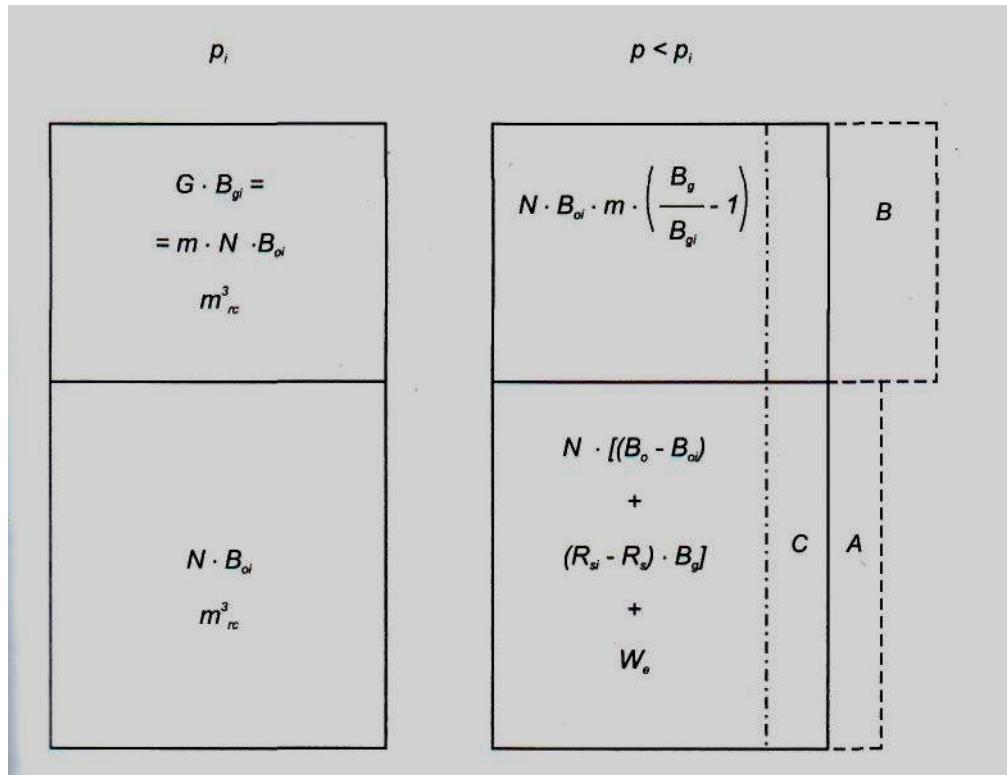
Prepostavke na kojima se jednačina temelji su:

nepromjenjiva zapremina ležišta

prosječni pritisak raspoređen po cijelom ležištu bez većih gradijenata
podaci o PVT odnosima fluida, koji moraju biti određeni na originalnim uzorcima ili prema sličnim ležištima nafte i plinatačni podaci o proizvedenim količinama tečnosti i ležišnim pritiscima
zanemarivanje promjena zapremine vezane vode i koeficijenta šupljikavosti stijene s promjenom pritiska, kao i oslobadanja plina iz vezane vode sa sniženjem ležišnog pritiska
Jednačina materijalnog uravnoteženja se koristi za procjenu otkrivenih zaliha ugljovodonika, odnosno, za provjeru količina procijenjenih zapreminskom metodom i za određivanje udjela pojedinih energetskih režima u procesu iskorištavanja ležišta

1.1.1. Naftna ležišta

Na slici 1 prikazana je shema naftnog ležišta s primarnom plinskom kapom kod početnog i nekog nižeg pritiska.



Slika 1-
Shema
naftnog
ležišta s

primarnom plinskom kapom

U lijevom dijelu slike je prikazan ukupna zapremina tečnosti pri početnim uslovima zalijeganja ležišta, koji je jednak zapremini

pornog prostora što ga zapunjavaju, dok su u desnom dijelu slike prikazani širenje preostalih tečnosti u ležištu i smanjenje zapremine pornog sistema, kao posljedice sniženja ležišnog pritiska. Zapremina pornog prostora zasićenog fluidima kod početnih uslova zalijeganja je označen punom linijom. On je pri nekom nižem pritisku povećan za zapreminu A, koji nastaje širenjem preostale nafte, plina otopljenog u njoj i slobodne vode u ležištu pod pritiskom nižim od početnog ležišnog pritiska, i zapremina B, koji nastaje širenjem plina u plinskoj kapi u ležištu pod pritiskom nižim od početnog ležišnog pritiska, a smanjen je za zapreminu C, koju čini kombiniranu posljedicu širenja vezane vode i smanjenja zapremine pornog prostora

Ukupno proizvedene količine tečnosti - D, izmjerene pri standardnim (površinskim) uslovima i preračunate na uslove u ležištu, jednake su zbroju promjena zapremine u ležištu ili

$$D = A + B + C$$

Uzme li se u obzir i proizvedena količina vode izražena pri slojnim uslovima $W_p \cdot B_w$, moguće je izjednačiti proizvedenu količinu fluida s izazvanim promjenama zapremine fulida i stijena pod ležišnim uslovima i na osnovu svega dobiva se konačni oblik jednačine materijalnog uravnovešenja, prilagođene za procjenjivanje ukupno otkrivenih količina nafte koja čini odnos razlike proizvedenih fluida i pritoka vode i širenja preostalih fluida u ležištu i stijeni

$$N = \frac{N_p \cdot [B_o + (R_p - R_s) \cdot B_g] + W_p \cdot B_w - W_e}{(B_t - B_{ti}) + m \cdot B_{ti} \cdot \left[\frac{B_g}{B_{gi}} - 1 \right] + (1 + m) \cdot c_e \cdot \Delta p}$$

Gdje je

- | | | |
|----------------|---|---|
| N | - | Otkrivene zalihe (količine) nafte, m ³ |
| N _p | - | Ukupno proizvedene količine nafte, m ³ |
| W _p | - | Ukupno proizvedene količine vode, m ³ |
| W _e | - | Pritok vode iz akvifera u ležišta ugljovodonika, m ³ |
| R _p | - | Omjer ukupno proizvedenih količina plina i nafte |

$$= \frac{G_p}{N_p}, \text{ m}^3/\text{m}^3$$

Rs	-	Količina plina otopljen u nafti
Bo	-	Zapreminske koeficijente nafta
Bg	-	Zapreminske koeficijente plina
Bw	-	Zapreminske koeficijente vode
Bt	-	Dvofazni (ukupni) zapreminske koeficijent
m	-	

$$= \frac{G \cdot B_{gi}}{N \cdot B_{oi}}$$

ce	-	Odnos zapreminskih dijelova ležišta zasićenim plinom i naftom
G	-	Efektivna kompresibilnost vode i stijene, bar -1

Ta jednačina obuhvaća sve vrste aktivnih režima iskorištanja naftnih ležišta

Za određene režime se nepotrebni dijelovi jednačine izostavljaju, nakon čega jednačine imaju oblike: za elastični režim

$$N = \frac{N_p \cdot B_o}{B_{oi} \cdot c_e \cdot \Delta p}$$

za režim otopljenog plina

$$N = \frac{N_p \cdot [B_o + (R_p - R_s) \cdot B_g]}{B_t - B_{ti}}$$

Za režim plinske kape

$$N = \frac{N_p \cdot [B_o + (R_p - R_s) \cdot B_g]}{B_t - B_{ti} + m \cdot B_{ti} \cdot \left[\frac{B_g}{B_{gi}} - 1 \right]}$$

za vodonaporni režim bez plinske kape

$$N = \frac{N_p \cdot [B_o + (R_p - R_s) \cdot B_g] + W_p \cdot B_w - W_e}{B_t - B_{ti}}$$

1.1.2. Plinska i plinsko kondenzatna ležišta

Opšta jednačina materijalnog uravnoveženja za plinska i plinsko-kondenzatna ležišta ima oblik:

$$G_p \cdot B_g + W_p \cdot B_w = G \cdot \left\{ (B_g - B_{gi}) \cdot \left[1 - \left(\frac{S_{wi} \cdot c_w + c_f}{1 - S_{wi}} \right) \cdot \Delta p \right] \right\} + W$$

gdje je

Gp - ukupno proizvedena količina plina u rasponu sniženja pritiska od pi do p, m3

Bg - zapreminske koeficijente plina

Wp - ukupno proizvedene količine vode, m3

Bw - zapreminske koeficijente vode

G - Otkrivene zalihe (količine) plina u plinskoj kapi, m3

Swi - početno zasićenje ležišta vodom, dij. jed

cw - kompresibilnost vode bar-1

cf - kompresibilnost stijene, bar -1

Δp - razlika pritisaka

Proizvedenim plinom (Gp) obuhvaćeni su:

ugljovodonici i njihove primjese u plinovitom stanju,
plinski ekvivalent proizvedenih ukapljenih plinova-kondenzata,
vodena para u proizvedenom plinu i kondenzatu,
plin oslobođen iz kondenzata od separatora do spremnika, ili

$$G_p = G'_p + G_{Lp} \cdot GE_L + (G'_p + G_{Lp} \cdot GE_L) \cdot GE_w \cdot C_{wg} + G_{rp}$$

gdje je :

G_p' - proizvedena količina ugljovodonika i primjesa u plinovitom stanju, m³

GL_p - proizvedena količina kondenzata, m³

GEL - plinski ekvivalent proizvedenog kondenzata, m³sc/m³

GEW - plinski ekvivalent proizvedene vodene pare, m³sc/m³

Cwg - sadržaj vodene pare u plinu, m³/m³sc

Grp - oslobođena količina plina iz kondenzata od separatora do spremnika, m³.

Plinski ekvivalenti proizvedenih količina kondenzata i vode računaju se po jednačini:

$$GE_L = 23644,5 \cdot \frac{\gamma_L}{M_L}$$

Odnosno:

$$GE_w = 23644,5 \cdot \frac{\gamma_w}{M_w}$$

Gdje su:

γ_L i γ_w - relativne gustoće kondenzata i vode u odnosu na vodu

M_L i M_w - molne mase kondenzata i vode.

Molna masa vode je jednaka 18,0, a molna masa kondenzata ovisi o njegovu sastavu i računa se po jednačini:

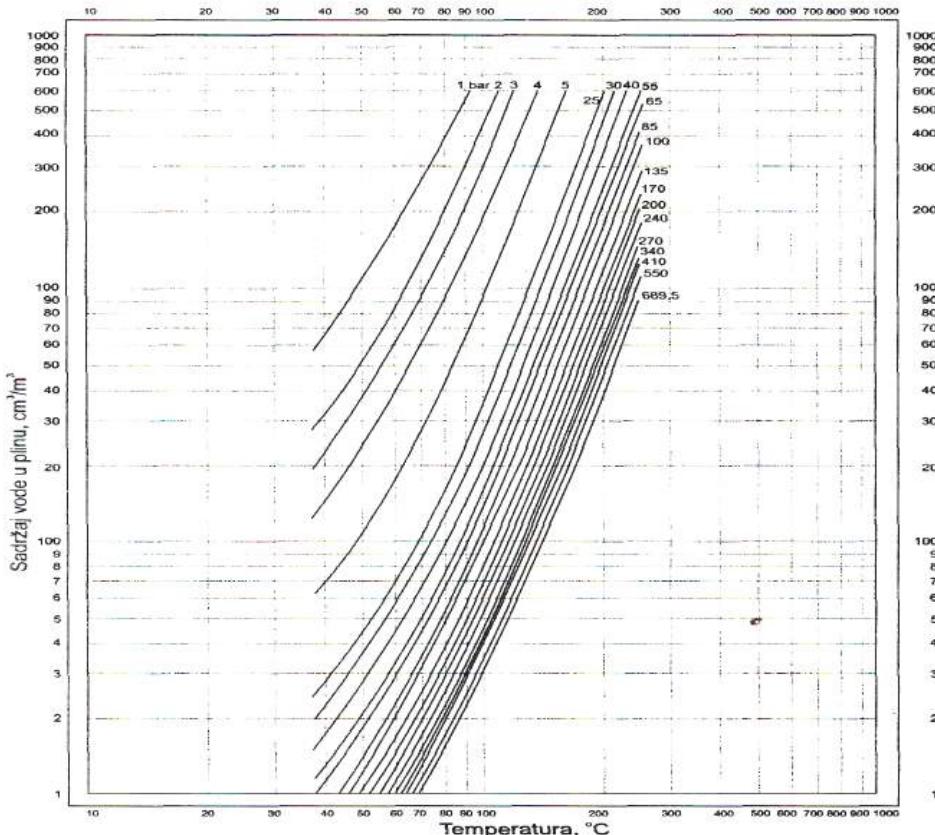
$$M_L = \frac{44,29 \cdot \gamma_L}{1,03 - \gamma_L}$$

Kako je relativna gustoća vode jednaka 1,0 a molna masa 18,0, plinski ekvivalent proizvedene vodene pare jednak je:

$$GE_w = 23644,5 \cdot \frac{1,0}{18,0} = 1313,6, m^3_{sc} / m^3$$

Sadržaj vodene pare u plinu računa se ili prema udjelu njezina parcijalnog pritiska u smješi ili s pomoću krivih sa slike 2 u zavisnosti o pritisku i temperaturi

Potrebne su korekcije za veći sadržaj neugljovodoničnih plinova u smješi.



Slika 2- Zavisnost sadržaja vodene pare u plinu o pritisku i temperaturi

Ukupna količina smješe ugljikovodika je prema jednadžbi (ukupne zalihe) jednaka:

$$G = A \cdot h_n \cdot \Phi \cdot (1 - S_{wi}) \cdot \frac{1}{B_{gi}}$$

U plinsko-kondenzatnim ležištima se zalihe ugljikovodika dijele na plin i kondenzat, što se može izraziti jednačinom:

$$G = G_g + G_L = G_g + G_g \cdot C_{Li} \cdot GE_L = G_g \cdot [1 + C_{Li} \cdot GE_L]$$

u kojoj je, dosad jedina, nepoznanica

LLi, — početni odnos kondenzata i plina izražen u cm^3/m^3 . Udjel zaliha plina u smješi može se izraziti jednačinom:

$$f_g = \frac{G_g}{G} = \frac{1}{1 + C_{Li} \cdot GE_L}$$

Prema tome, otkrivene zalihe plina jednake su:

$$G_g = G \cdot f_g \quad \text{m}^3$$

a otkrivene zalihe stabilnog kondenzata

$$G_L = G \cdot f_g \cdot C_{Li} \times 10^{-6}, \text{ m}^3$$

USLOVI ZA TRANSPORT ČESTICA U NAFTNOJ BUŠOTINI

Tečnost se u bušotini kreće turbulentno, brzinom v , a čvrsto tijelo težine G , lebdi, tj. ne kreće se. Brzina tečnosti je nedovoljna da bi ga iznijela. Ova brzina se naziva kritičnom, i uvjetovana je našim uticajem. Jednačina gornjeg kretanja može se predstaviti u slijedećem obliku:

$$G = C_x \cdot w \cdot \frac{\gamma \cdot v^2}{2 \cdot g}$$

Iz gornje jednačine proizlazi da je kritična brzina jednaka:

$$v_{kr} = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot G}{C_x \cdot w \cdot \gamma}}$$

gdje je:

- g – ubrzanje sile Zemljine teže (m/s²),
- G – težina čvrste čestice (N),
- C_x – koeficijent otpora, koji zavisi od oblika čestice i njenog položaja u struji tečnosti,
- w – površina presjeka čestice (m²),
- γ – zapreminska gustina tečnosti (kg/m³).

Brzina uzlazne struje tečnosti treba da je veća od kritične brzine tonjenja čestice, kako bi se omogućilo iznošenje pjeska koji u buštinu dolazi iz sloja. Koeficijent otpora C_x mijenja se u zavisnosti od Rejnoldsovog broja, od geometrijskog oblika čestice, položaja čestice u struji i dr. Kod vrijednosti Re > 10 000, ovaj koeficijent sa dovoljno tačnosti iznosi 0,5.

Ako je Re < 10 000, onda treba koristiti eksperimentalne podatke.

OSVAJANJE BUŠOTINA

Pod osvajanjem bušotine podrazumijeva se proces uspostavljanja pritoka nafta ili gasa iz sloja u buštinu. Nakon perioda osvajanja nastupa period normalne eksploatacije bušotine.

Za ostvarenje pritoka fluida u buštinu treba stvoriti povoljne uslove za pritok u pribušotinskoj zoni. Osvajanje bušotine je jedan kompleksan problem, koji zahtijeva odgovarajuće stručno rješenje. Treba reći da ne postoji univerzalan metod osvajanja bušotine, već postoje odgovarajući principi, tj. metod se nameće na osnovu konkretnih uslova u buštoni. Osvajanje bušotine može da traje i više mjeseci, ali se u konačnom može dogoditi da se rezultati osvajanja i ne postignu. Na izbor metode osvajanja bušotine mogu da utiču slijedeće činjenice:

- slojni pritisak (pritisak formacije),
- zasićenje sloja naftom, gasom i vodom,
- stepen iscrpljenosti sloja,

propustljivost (permeabilitet).

PRINCIPI I METODE OSVAJANJA BUŠOTINA

Kao uslov pritoka fluida iz sloja u buštinu, treba ostvariti diferencijalni pritisak (razliku) između sloja i stuba fluida na dnu bušotine.

Ukoliko su otpori kretanju fluida veći, utoliko treba da bude veći diferencijalni pritisak.

Izmjena pritiska na dnu bušotine je otežana u procesu osvajanja bušotine, pa se o tome mora posebno voditi računa.

Na putu kretanja fluida suprotstavljaju mu se različiti otpori, i to vještački i prirodni.

U vještačke otpore spadaju:

- oprema na dnu bušotine,
- konstrukcija filtra i
- zaglađenost sloja u pribušotinskoj zoni u toku procesa bušenja.

Prirodni otpori zavise od fizičko – hemijskih karakteristika sloja.

Uz odgovarajuće mjere i primjenu odgovarajućih metoda obrade pribušotinske zone moguće je smanjiti prirodne otpore.

U praksi postoje slijedeće metode osvajanja bušotina:

- circulacija vodom i naftom,
- circulacija aerizovanom tekućinom,
- osvajanje kompresorom,
- metoda dvostrukog prođuvavanja,
- osvajanje kompresorom sa utiskivanjem nafta,
- klipovanje,
- klipovanje sa utiskivanjem vazduha,
- osvajanje dubinskim pumpama,
- kašikovanje,
- metoda represije.

Kod izbora metode osvajanja mora se voditi računa o slijedećim činjenicama:

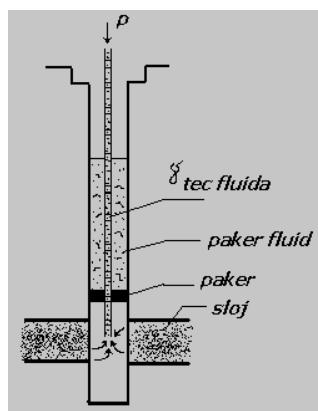
- da se tokom osvajanja ostvari ravnomjerna depresija,
- da se utvrdi moment početka pritoka fluida u buštinu,
- da se sav pjesak iznese iz bušotine (circulacijom),
- da ne dođe do nailaska velikih količina pjeska u buštinu,
- da se omogući kontrola procesa osvajanja bušotine,
- da budu ispoštovani propisi sigurnosti na radu,
- da je primjena metode u radu jednostavna.

Pritisak na dnu bušotine, koji se mijenja u procesu osvajanja, može se odrediti prema slijedećoj formuli:

$$p_d = \frac{H \cdot \gamma}{10} \cdot 0,981 + p$$

gdje je:

p_d – pritisak na dnu bušotine (bara; Pa),
H – visina stuba tečnosti u bušotini (m),
 γ – zapreminska gustina tečnosti (kg/m^3),
p – pritisak pumpe sa površine (bara; Pa)



SLIKA 1 – Opšti raspored tubinga i pakera u odnosu na sloj

Najsavremenije su metode osvajanja bušotina one koje baziraju svoje efekte na promjeni zapreminske gustine tečnosti (γ). Druge metode, izuzev represije, baziraju se na promjeni visine stuba tečnosti u bušotini.

OSVAJANJE BUŠOTINA VODOM I NAFTOM

Pošto se bušotina napuca, u nju se ugrađuje tubing, montira se erupecioni uređaj i uspostavlja se cirkulacija tečnosti. Izbor prečnika tubinga mora biti u funkciji očekivane proizvodnje bušotine i veličine prstenastog prostora između zaštitne kolone i tubinga.

Dubina ugradnje tubinga zavisi od uslova u bušotini, odnosno od toga da li prijeti stvaranje pješčanih čepova. Dno tubinga postavlja se do gornjih otvora perforacije.

Nakon postavljanja erpcionog uređaja, pumpa za cirkulaciju se priključi na vod povezan sa prstenastim prostorom, i nakon toga započinje se sa obratnom cirkulacijom.

Ako je u bušotini isplaka, onda se cirkulacija najprije vrši vodom, tj. zamjeni se isplaka vodom. Na taj način pritisak na dno bušotine smanjuje se za 13 % ukoliko je isplaka posjedovala gustinu od $1,15 \text{ kg}/\text{dm}^3$. Cirkulacija vodom se vrši nekoliko sati.

Ako bušotina za to vrijeme ne "PRORADI" sa cirkulacijom sa vodom, prelazi se na cirkulaciju sa naftom. Na taj način izvrši se dalje sniženje pritiska na sloj za ukupnih 25 % u odnosu na početni pritisak ako je nafta gusta (teška) $0,86 \text{ kg}/\text{dm}^3$.

Kod dovoljno visokog slojnog pritiska i malih otpora pribušotinske zone uslijed zaglinjenosti sloja, onda je naprijed opisani postupak dovoljan da sloj (bušotina) počne da eruptira. Ova metoda osvajanja bušotine stvara ravnomernu depresiju kod izazivanja pritoka nafte iz sloja, ne zahtijeva otvaranje bušotine i pokretanje tubinga gore – dole u toku procesa osvajanja.

Također, na ovaj način je omogućeno neprekidno ispiranje i čišćenje dna bušotine, pod uslovom da je tubing spušten dovoljno duboko, u odnosu na naftni ili plinski sloj. Nedostatak ove metode sastoji se u određenim uskim granicama depresije, što ukazuje da je metoda pogodna za svježe ili nedovoljno eksplotuirane slojeve, odnosno za slojeve sa dovoljno visokim slojnim pritiskom.

CIRKULACIJA – OSVAJANJE AERIZOVANIM TEČNOSTIMA

Metoda cirkulacije aerizovanim tečnostima je u stvari produžetak prethodno iznijete i opisane metode. Ta metoda zasnovana je na daljem smanjenju zapreminske gustine tečnosti u bušotini, odnosno smanjenju njenog hidrostatskog pritiska na sloj. Smanjenje zapreminske gustine tečnosti postiže se njenom aeracijom, uz upotrebu odredene opreme, pri čemu se u bušotinu postupno povećano dodaju sve veće količine komprimiranog vazduha, a sve manje tečnosti (isplaka, voda, nafta).

11. OSVAJANJE KOMPRESOROM

Metoda osvajanja kompresorom dosta se često primjenjuje u praksi zbog jednostavnosti procesa osvajanja i zbog mogućnosti neposrednog puštanja bušotine u proizvodni rad, nakon utvrđivanja

pritoka nafte ili plina iz sloja u kanal bušotine. Primjena ove metode je u tome da se tečnost (najčeće isplaka) nalazi relativno blizu usta bušotine. Tubing se obično ugradi na dubinu 400 – 500 m, a uz pomoć diferencijalnih ventila može i dublje.

Kompresorom zahvaćena površina tečnosti (400 – 500 m), se izbacuje vani iz bušotine, a zatim se po potrebi tubing spušta dublje u buštinu, dok se ne ostvari potrebna depresija za izazivanje pritoka fluida, nafte ili plina, iz sloja u kanal bušotine.

Metoda osvajanja kompresorom preporučuju se za osvajanje slojeva sa visokim slojnim pritiskom.

NEDOSTATCI metode osvajanja kompresorom su slijedeći:

otežana kontrola stanja dna bušotine, kojom prilikom može da dođe do prodora pjeska iz sloja i stvaranja pješčanog čepa, uslijed velike depresije,
postepeno spuštanje tubinga dovodi do različitih i neravnomjernih depresija, koje dovode do rušenja pribušotinske zone, ukoliko je ona trošna,
dubina ugradnje tubinga uslovljena je pritiskom kompresora, uslijed čega često dolazi do ugradivanja tubinga na manjim dubinama. U takvim slučajevima udaljenost dna tubinga od dna bušotine je znatna. Slojni fluid se u ovom slučaju kreće kroz prstenasti prostor većeg presjeka, što ima za posljedicu smanjenje brzine kretanja fluida a time i taloženje pjeska.

12. OSVAJANJE BUŠOTINE METODOM KLIPOVANJA

Redoslijed radnih operacija kod ove metode je slijedeći:

prvo se bušotina napuca, zatim se u nju ugrađuje tubing, a potom se opremaju usta bušotine, u buštinu se spušta klip kroz otvoren erupcioni uredaj. Podizanjem klipa izvlači se stub tečnosti iznad klipa. Klip se tokom rada spušta na 20 – 30 m ispod nivoa tečnosti. Osvajanje bušotine klipovanjem sastoji se u postupnom sniženju nivoa tečnosti i povećanju depresije na dno bušotine. Osvajanje bušotine vrši se pri otvorenim ustima bušotine. Prema tome, primjena ove metode dolazi u obzir kada nema opasnosti od eruptiranja bušotine. Klipovanjem se mora postepeno snižavati nivo, jer u suprotnom može doći do prodora pjeska iz sloja i stvaranja pješčanog čepa uslijed naglo stvorene depresije. Klip je šuplja cijev sa kugličnim ventilom na dnu klipa. Na klipu se nalaze gumene manžete koje su ojačane čeličnom žicom, koje zadižu fluid (isplaka, voda) i iznose ga van iz bušotine. Često se u tubingu iznad klipa postavlja teška šipka koja svojom težinom omogućava brže padanje klipa kroz isplaku ili vodu ili gustu naftu.

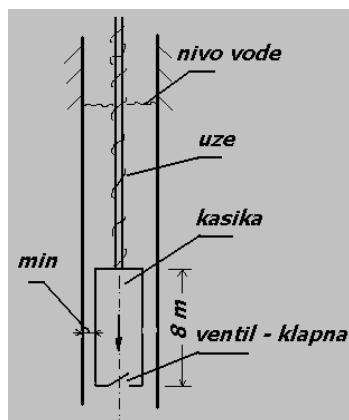
Nedostatak ove metode osvajanja je u nemogućnosti čišćenja dna bušotine od pjeska koji dolazi iz proizvodne formacije.

13. METODA KAŠIKOVANJA

Kašikovanje se sastoji u pražnjenju bušotine pomoću uredaja koji se zove kašika.

Ovaj uredaj je okrugla cijev dužine 8 m, koja na dnu posjeduje ravni ventil – klapnu.

Prečnik kašike mora biti manji od unutrašnjeg prečnika eksploracione kolone.



SLIKA 2 – Uredaj za kašikovanje

Za vrijeme kašikovanja bušotina je bez_tubinga_ i erupcionog uredaja, što znači da su uslovi za erupciju bušotine izuzetno veliki, o čemu se mora voditi računa. Kašikovanje se izvodi u buštinama za koje se sigurno zna da neće eruptirati, kao i u buštinama sa slabim pritokom fluida u kanal bušotine.

Takođe, kašikovanje se vrši i u cilju izučavanja eksploracionih karakteristika sloja.

Uslovi rešenja jednačine difuziteta

Pritok nafte u buštinu odvija se pri konstantom izotermnom protoku(q_0) ili pritisku(P_{w1}) kroz ograničeno ležište, bilo koje geometrije ili heterogenosti. U uslovima prelaznog protoka, kada ležišni pritisak nije pod uticajem prisustva spoljne granice (neograničeno ležište) ili kada su karakteristike ležišta takve da se period

dostizanja pseudostacionarnog ili stacionarnog stanja ne može ostvariti i kada je protok konstantan, ponašanje dinamičkog pritiska u bušotini definisan je uslovom:

$$\frac{\partial p_{wf}}{\partial t} \leq 0 \quad \text{i} \quad \frac{\partial^2 p_{wf}}{\partial t^2} \geq 0$$

Kada se dostigne pseudostacionarno stanje, dinamički pritisak na dnu je linearna funkcija vremena.U uslovima stacionarnog protoka, pritisak na granicama ležišta je konstantan, tj. u bilo kom trenutku vremena u ležištu postoji izbalansirano stanje u pogledu mase nafte koja izlazi i ulazi u ležište. Pri takvom bilansu mase i hidrodinamičkom stanju nafte na spoljnim ($P_r = \text{const}$) i unutrašnjim ($q_f = \text{const}$) granicama, direktna primjena zakona Darcyja za lamilarni protok daje zadovoljavajuća rješenja.Opšti oblik Darcijeve jednačine za radijalan protok fluida u kanal bušotine je:

$$q_o = \frac{K h_t}{\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)} \int_{p_{wfs}}^{p_r} f(p) dp$$

gde je:

K - srednja absolutna

propusnost ležišta ($10^{-3} \mu\text{m}^2$)

h_t - ukupna debljina ležišta (m)

P_r - srednji pritisak u ležištu (bar)

P_{wfs} - dinamički pritisak na dnu bušotine (bar)

r_e - drenažni radijus bušotine (m)

r_w - radijus bušotine (m)

$f(p)$ - funkcija koja obuhvata promJenu viskoznosti, relativne propusnosti i zapreminske faktore nafte od pritiskaOblik IPR krive i metode koje se koriste za proračun zavise od većeg broja faktora od kojih su najbitniji:

odnos tekućeg pritiska u ležištu i pritiska zasićenja (jednofazan ili višefazan protok)

hidrodinamičke karakteristike ležišta (propusnost, poroznost, zasićenja, debljina, stepen heterogenosti...)raspolaganje sa podacima mjerenja (testiranja) bušotina.

Uzimajući u obzir određena pojednostavljenja i granične uslove, opšti oblik Darcijeve jednačine može se prilagoditi specifičnim uslovima protoka.Prelazni režim protoka počinje u trenutku kada je uslijed promjene pritiska dostignuta najbliža granica drenažne površine ležišta, a završava se u trenutku dostizanja spoljne granice. Ponašanje dinamičkog pritiska ili protoka u toku prelaznog režima teže je interpretirati, jer tačna geometrija spoljne granice nije poznata. U slučaju da je spoljna granica ležišta izrazito nesimetrična, trajanje prelaznog perioda je veoma kratko.Kako su pritisak i proizvodnja u periodu prelaznog režima protoka vremenski zavisne funkcije, osnovna karakteristika protoka nafte je izrazita nestabilnost i neuravnoveženost, što je i praćeno postepenim smanjivanjem maksimalno moguće proizvodnje, sve dok se ne dostignu pseudostacionarni, odnosno stacionarni uslovi.

Konstantan indeks produktivnosti

Da bi se izračunala indikatorska kriva potrebno je znati indeks produktivnosti bušotine, koji se određuje na osnovu jednog mjerena proizvodnje nafte.

$$PI = \frac{Q_{ot}}{(p_r - p_{wft})}$$

Jednačina pritoka pri $PI=\text{const}$:

$$Q_o = PI \cdot (p_r - p_{wft})$$

Ako nije izvršeno mjereno proizvodnje, indeks produktivnosti se izračunava na osnovu poznatih vrijednosti o fizičkim karakteristikama fluida, petrofizičkim i hidrodinamičkim osobinama ležišta

propusnost (K),

debljina ležišta (h_t),

radijusi drenaže i bušotine (r_e, r_w),

zapremski faktor nafte (B_o),

viskoznost nafte (μ_o).

Uz pretpostavku da se ostvaruju idealni uslovi pritoka nafte (ukupni skin faktor $S_f=0$) indeks produktivnosti jednak je:

$$PI = 7.564 \cdot 10^{-3} \frac{Kh_t}{\mu_o B_o}$$

Završni oblici analitičkih modela za analizu pritoka nafte u vertikalnu bušotinu u slučaju homogenog ležišta sa primarnim sistemom poroznosti pri jednofaznom protoku dati su jednačinama za slučajevne stacionarnog i pseudostacionarnog protoka

KAPILARNE I MOLEKULARNO POVRŠINSKE POJAVE U LEŽIŠTU

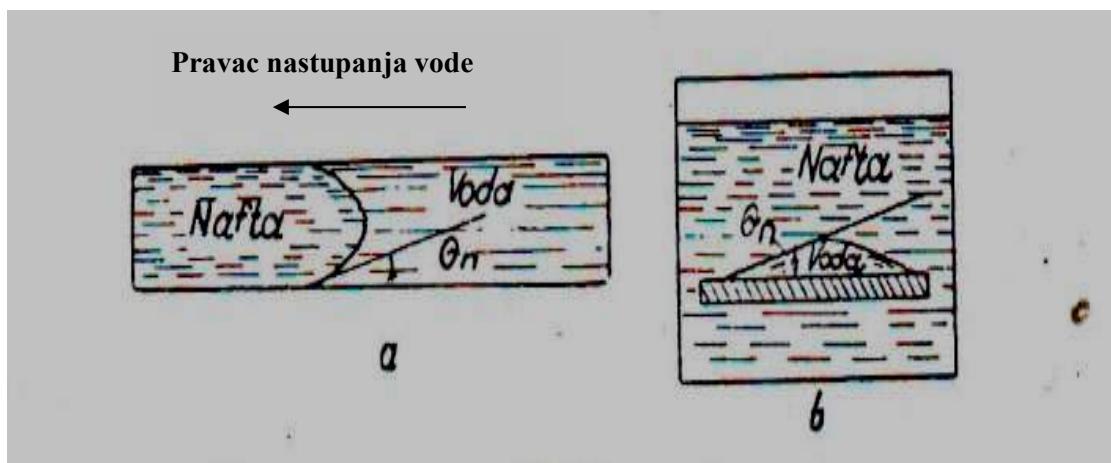
Do uzajamnog dejstva faza (tečna, čvrsta i gasna) u naftosnom ležištu dolazi pri visokim pritiscima i temperaturama. Kao rezultat toga dejstva u poroznoj sredini nastaju različite kapilarne i molekularno površinske pojave. Međufazni napon između slojne nafte i vode kreće se od 2 do 30 dyn/cm (jedinica sile $N/m = 10^{-3}$ dyn/cm), što zavisi od njihovih osobina.

Ako se pritisak poveća za 50 atm međufazni napon donekle će se povećati dok će, pri povećanju pritiska do 250 atm ($1 \text{ atm} = 1,01325 \times 10^5 \text{ Pa}$), ostati približno na istoj vrednosti.

Razmatraju se pojave koje nastaju pri nastupanju u ležištu aktivne rubne (konturne) vode.

Voda i nafta u ležištu mogu da kvase ili da ne kvase zidove pornih kanala, koji u ovom slučaju predstavljaju čvrstu fazu. Kada se kroz poroznu sredinu kreću dvije faze (voda i nafta) jedna od njih obično bolje kvasi stijenu nego druga.

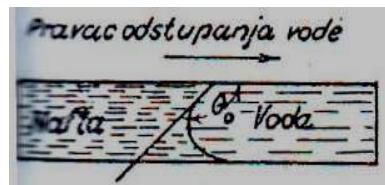
Razmatra se slučaj hidrofilne stijene — kolektora. (Sl. 1a).



Slika 1 - Kvašljivost

Kontaktni ugao uvjek se mjeri u pravcu vodene faze. Voda bolje kvasi stijenu, rasprostire se po njenoj površini i zamjenjuje naftu. Kontaktni ugao Θ_n naziva se nastupajućim uglom.

Mjerenje kontaktnog ugla vrši se u hermetičnoj prozračnoj posudi pri čemu se nafta razblažuje izooktanom da bi postala prozračna. Zatim se u naftu stavlja kvarcna pločica, a na pločicu kapljica vode (sl. 1b). U jednakim uslovima kontaktni uglovi Θ_n (sl. 1 a i b) treba da budu jednakci. Ako nafta potiskuje vodu onda se kontaktni ugao Θ_0 naziva odstupajućim uglom (sl 2).



sLika 2

SILE KOJE SE SUPROSTAVLJAJU IZVLAČENJU NAFTE IZ LEŽIŠTA

Kao što u ležištu postoje sile koje omogućuju proizvodnju nafte tako isto postoje i sile koje se tome protive. Te sile su, na primer:

sila trenja nafte, vode i gasa o zid pornih kanala,

dvofazno i trofazno kretanje u ležištu

otpori koji nastaju pri prolazu mjeđurića gase kroz sužene porne kanale

izvjesne molekularno površinske pojave

SILE TRENJA Sile trenja zavise uglavnom od viskoziteta tečnosti i od karaktera kolektora, a proporcionalne su brzini kretanja. Smanjenjem slojnog pritiska i izdvajanjem gasa iz nafte, viskozitet

nafte u slojnim uslovima se povećava što dovodi do znatnog povećanja sile trenja.
Ukoliko je bušotina nesavršenija utoliko će biti veće sile trenja.

DVOFAZNO I TROFAZNO KRETANJE U LEŽIŠTU

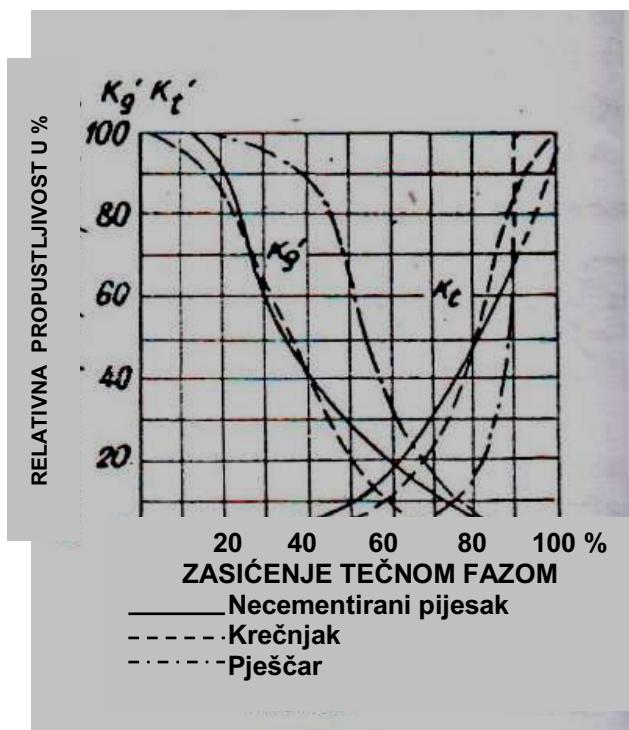
Ako se u ležištu kreće nafta sa slobodnim gasom (gazeeficirana nafta) ili smješa nafte i vode i rjede smješa vode sa gasom, onda se za takvo kretanje kaže da je dvofazno. Pod trofaznim kretanjem podrazumjeva se kretanje kroz ležište smješe nafte, vode i gasa. Dvofazno i trofazno kretanje nalazi se još u stadijumu teoretskog i eksperimentalnog izučavanja

Uslov za nastanak dvofaznog kretanja je sniženje pritiska na dnu pojedinih bušotina (u početnom periodu eksploatacije) ili sniženje pritiska u cijelokupnom ležištu ispod pritiska zasićenja nafte sa gasom. Gas se tada izdvaja iz nafte i od jedne faze postaju dvije.

Može da se posmatra kretanje jedne faze nezavisno od kretanja druge faze, tj. da se dozvoli pretpostavka da se nafta kreće kroz jednu promjenljivu sredinu koja se sastoji iz stijene i gasnih mjeđurića, a da se gas kreće takođe kroz promjenljivu sredinu koja se sastoji iz stijene i tečnosti.

Propustljivost jedne faze zavisiće od zasićenja stijene sa drugom fazom.

Promjena zasićenja jedne faze dovodi do promene propustljivosti za drugu fazu. U vezi s tim, postoji pojam o faznoj ili efektivnoj propustljivosti. Tokom eksploatacije ležišta slojni pritisak opada i zasićenje kolektora se mijenja (opada za naftu, a raste za gas), a time se mijenja i fazna propustljivost (za naftu se smanjuje, a za gas raste). Ispitivanja su vršena sa kretanjem smješe vode i ugljene kiseline pri čemu se išlo od potpune zasićenosti vode sa gasom do potpune degazacije. Rezultati ispitivanja dati su u obliku krivih (slika 3), koje pokazuju zavisnost faznih (efektivnih) propustljivosti od zasićenja pornog prostora sa tečnošću.



Slika 3- Zavisnost faznih (efektivnih) propustljivosti od zasićenja pornog pastora sa tečnošću.
Na ordinatnu osu nanijete su relativne propustljivosti za tečnu i gasnu fazu.

Relativna propustljivost date faze je odnos između fazne i absolutne propustljivosti.

Relativna propustljivost za tečnu fazu k'_t će biti:

$$k'_t = \frac{k_t}{k}$$

Relativna propustljivost za gasnu fazu

$$k'_g = \frac{k_g}{k}$$

Gdje je

k_t i k_g - odgovarajuće efektivne propustljivosti

k - absolutna propustljivost

Relativna propustljivost izražava se u procentima od absolutne propustljivosti.

Na primer, ako je zasićenje kolektora sa tečnom fazom $S = 30\%$, onda je zasićenje sa gasnom fazom 70% . Za $S = 100\%$, zasićenje sa gasom je ravno nuli i obrnuto, ako je $S = 0$ zasićenje gasom je 100% . Prema slici 3 za necementirane pjeskove, kod zasićenja sa vodom 30% (zasićenje gasom 70%), relativna propustljivost za gas $k_t' = 60\%$ i za vodu $k_v' = 0$. Zbir relativnih propustljivosti za dvije faze, pri ma kom zasićenju sa tečnošću, nije ravan nuli ali je uvek manji od absolutne propustljivosti tj:

$$k_t' + k_g' < k$$

odnosno

$$\frac{k_t}{k} + \frac{k_g}{k} < 1$$

Kada bi zbir $k_t' + k_g'$, pri različitim zasićenjima vode, bio 100% onda bi prikazane krive bile dijagonale kvadrata. Relativna propustljivost za tečnost jednaka je nuli kada je zasićenje sa tečnošću jednako 30% . To znači da u sloju još postoji nafta iako je bušotina prestala da daje naftu i prešla na proizvodnju čistog gase. Bušotine blizu gasne kape eksploatišu se vrlo oprezno. Pritisak na dnu takvih bušotina se tako reguliše da ne dođe do privremenog porasta gasnog faktora jer to može da dovede do brzog prelaska na proizvodnju čistog gase.

Padom pritiska u gasnoj kapi, usled povećanja proizvodnje gase na bušotinama koje se nalaze blizu nje, može da dođe do probijanja nafte u pravcu gasne kape.

Ta će nafta ostati neiškorišćena pošto je fazna propustljivost za naftu, u tome slučaju, vrlo mala ili jednaka nuli

OPITI FAZNE PROPUSTLJIVOSTI

Opiti fazne propustljivosti su vršeni u necementiranim pjeskovima, krečnjacima i pješčarima i oni su pokazali da se kvalitetna suština dvo-faznog kretanja ne mijenja.

Dvo-fazno kretanje nafta-voda postoji kod potiskivanja nafte sa vodom pri čemu se voda probija u zonu prvobitno zauzetu naftom što dovodi do porasta zasićenja vodom i do smanjenja zasićenja naftom, promjena u zasićenju dovodi do promene relativnih propustljivosti što u kvalitetnom pogledu, analogna pojava kao kod promene zasićenja (propustljivosti) tečnost-gas.

Kod necementiranih pjeskova pri zasićenju sa vodom 80% relativna propustljivost za naftu jednaka je nuli. Kod peščara relativna propustljivost za naftu će biti jednaka nuli i pri znatno manjem zasićenju vodom.

Kod necementiranih pjeskova zasićenih sa vodom 30% (zasićenje naftom 70%) relativna propustljivost za vodu jednaka je nuli a za naftu 50% .

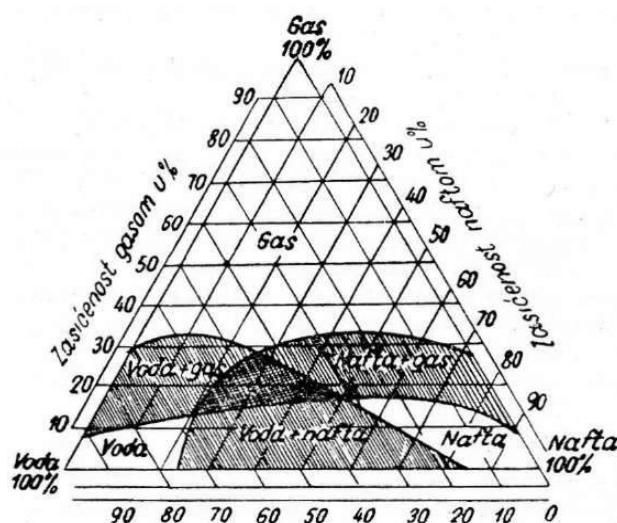
To znači da će bušotina da proizvodi čistu naftu i ako je ležište zasićeno sa vodom do 30% .

Kod trofaznog kretanja (nafta + voda + gas) raspodjela faznih propustljivosti je komplikovanija. Promjena relativne propustljivosti za svaku fazu biće analogna promjeni kod dvo-faznog kretanja s tim što treba isključiti jednovremeno kretanje triju faza.

Fazna propustljivost za vodu zavisi samo od zasićenja kolektora sa vodom a ne zavisi od odnosa između zasićenja kolektora sa naftom i zasićenja sa gasom. Fazna propustljivost za gas biće manja kod trofaznog nego kod dvo-faznog kretanja i ako je zasićenost sa gasom ista.

Fazna propustljivost za naftu je u nekim oblastima zasićenja manja a u nekim veća od fazne propustljivosti u uslovima dvo-faznog kretanja (pri istim zasićenjima).

Iz slike 4 vidi se da pri sadržaju gasa u kolektoru 35% u proizvodnji će se dobiti samo gas.



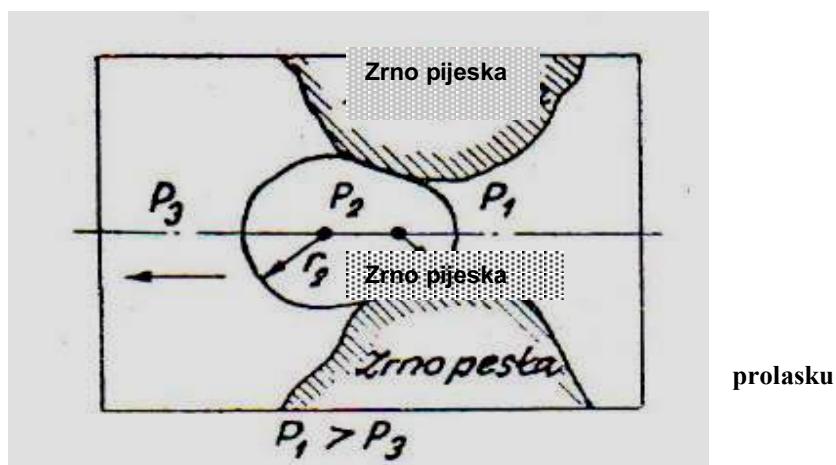
Slika 4-Fazni odnosi tri faze

Ako je sadržaj gasa ispod 10% i nafte ispod 23% onda će bušotina proizvoditi samo vodu.

Ako se sadržaj vode kreće od 20 do 30% i gase od 10 do 18% onda će se u proizvodnji dobiti samo nafta. Osjenčene oblasti na slici odgovaraju dvofaznoj proizvodnji a duplo osjenčena oblast trofaznoj proizvodnji. Na osnovu izloženih podataka može se konstatovati da režim proizvodnje bušotine treba tako podesiti kako bi pritisak na dnu bušotine bio veći od pritiska zasićenja i kako bi se nafta proizvodila sa relativno malim sadržajem vode. U protivnom, može da dođe do proizvodnje velike količine gase na račun nafte ili do zavodnjavanja bušotine.

ŽAMENOV EFEKAT

Otpor kretanju nafte u ležištu mogu da stvore i mjehurići gase pri prolazu kroz sužena mjesta u pornim kanalima. Mjehurići gase koji su se izdvojili iz naftе, teže da se popnu u najviše tačke ležišta ili da se zajedno sa naftom probiju prema dnu bušotine. Kretanjem kroz mrežu kapilarnih kanalića, mjehurići gase teže da se prošire do veličine pora. Prolazom kroz sužena mjesta u pornim kanalićima (između zrna koja sačinjavaju kolektor) mjehurići gase mijenjaju svoj oblik i svoje dimenzije (slika 1).



Slika 1 –Oblik mjehurića pri kroz sužene prostore

Poluprečnici krivina

mjehurića mijenjaju se pri tome, tako da je, prema slici $r_2 > r_1$. Kapilarni pritisci koji nastaju na kontaktima nafte i gase određuju se po formulama:

$$P_1 - P_2 = \frac{2\delta \cos \Theta}{r_1}$$

Odnosno

$$P_3 - P_2 = \frac{2\delta \cos \Theta}{r_2}$$

gde su:

P_1 -spoljni pritisak na kontaktu poluprečnika krivine r_1

P_2 -pritisak unutar gasnog mjehurića

P_3 - spoljni pritisak na kontaktu poluprečnika krivine r_2

δ - površinski napon na granici između nafte i gase u dyn/l cm

Θ -kontaktni ugao (ugao kvašenja)

$$(P_1 - P_2) > (P_3 - P_2)$$

Oduzimanje formule (2) od formule (1) dobija se

$$\Delta P_k = P_1 - P_3 = 2\delta \cos \Theta \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

Gdje je

ΔP_k - razlika kapilarnih pritisaka koja je stvorena molekularno površinskim silama; tu razliku treba savladati pri protiskivanju mjeđurića gasa kroz pore.

ΔP_k će imati najveću vrijednost kada mjeđurić gasa prolazi kroz nazući dio kanalića pošto je tada $\Theta = 0$ a $\cos \Theta = 1$, odnosno kada je poluprečnik mjeđurića jednak poluprečniku uzane pore.

Kod velikog broja mjeđurića ukupni otpori kretanja nafte mogu da dostignu znatnu vrijednost.

Dejstvo Žamenovog efekta je po veličini analogno povećanju viskoziteta nafte.

Obzirom da se gas, zbog svoje manje specifične težine i manjeg viskoziteta, odvaja od nafte i zauzima gornji dio ležišta, onda se sila Žamenovog efekta znatno smanjuje.

I pored toga, mora se voditi računa o Žamenovom efektu kao otporu kretanju nafte ka buštinama.

MOLEKULARNO POVRŠINSKE POJAVE

Kapilarne sile zadržavaju naftu u kapilarnim zonama (vrlo sitne pore) i na taj način otežavaju izvlačenje nafte iz tih zona. Za savladavanje kapilarnog pritiska potrebno je da se obezbjedi veći pad pritiska nego što je to normalno potrebno za protok nafte.

Veličina kapilarnog pritiska proporcionalna je površinskom naponu i obrnuto proporcionalna poluprečniku krivine dodirne površine.

Kod slabo propustljivih kolektora poluprečnici krivina kontaktnih površina mogu da budu jednaki poluprečnicima kapilara što povećava kapilarni pritisak i otežava izvlačenje nafte.

Kolektori se obično karakterišu sa nejednakom raspodjelom propustljivosti po pružanju i močnosti sloja. Voda koja potiskuje naftu, u procesu eksploracije, može da obide slabo propustljive zone i na taj način da stvori vodene jezike. U tim slučajevima je otežano regulisanje konture vode. Da bi se omogućilo iskorištavanje nafte iz slabo propustljivih zona primjenjuju se specijalne metode, kao:

obrada sloja sonom kiselinom,

hidraulično razbijanje slojeva itd.

I kod izeksploatisanih slojeva, sa ravnomjernom propustljivošću, gdje se kontura vode ravnomjerno kretala, ostala je nafta u obliku opni ili je zadržana kapilarnim silama.

Za izvlačenje tako preostale nafte koriste se različite metode, kao:

forsirano crpljenje tečnosti,

termička obrada itd.

USLOVI ZA ERUPCIJU BUŠOTINE

Bušotina eruptira pod slijedećim uslovima:

$$G_0 \cdot \ln \frac{p_d}{p_2} \geq R_0 \cdot \ln \frac{p_1}{p_2}$$

gdje je:

G_0 – gasni faktor pri standardnim uslovima (m^3/kg),

p_d – apsolutni pritisak na dnu bušotine (Pa),

p_1 – pritisak na ustima bušotine (Pa),

p_2 – pritisak na peti tubinga (Pa)

R_0 – specifična potrošnja gase potrebna za podizanje tekućine, svedeno na atmosferske uslove (za $t= 16^{\circ}\text{C}$), (m^3/kg). Zavisi od dužine i prečnika tubinga i pritiska p_1 i p_2 što znači da se može mijenjati u zavisnosti od uslova podizanja tečnosti kroz tubinga. Praksi se nastoji postići što manja vrijednost R_0 . To će biti ostvareno ako tubing radi pri optimalnom režimu i pri najvećem potapanju. Ti se uslovi postižu odabiranjem odgovarajućeg prečnika tubinga i ugradivanjem tubinga do perforiranog intervala u bušotini.

Kada tubing daje optimalnu proizvodnju nafte, i kada je pritisak u peti tubinga jednak pritisku sloja, onda će (prema jednačini 1) uslovi za erupciju biti:

$$G_0 \geq R_0$$

Nadalje, R_0 se računa prema formuli:

$$R_0 = \frac{0,008 \cdot L \cdot [\gamma \cdot L - 10 \cdot (p_1 - p_2)]}{d^{0,5} \cdot (p_1 - p_2) \cdot \log \frac{p_1}{p_2}}$$

gdje je:

γ – zapreminska masa tečnosti (kg/m^3),

d – unutrašnji prečnik tubinga (m),

L – dužina tubinga (m).

Radi preciznijeg računa uzima se uticaj rastvorenog gasa u nafti prema Henrijevom zakonu, i promjena pritiska duž tubinga po pravoj liniji, te se dobiva srednja zapremina rastvorenog gasa u jednoj toni nafte:

$$v_{sr} = \frac{\alpha}{\gamma} \cdot \frac{p_1 + p_2}{2}$$

gdje je:

- α – koeficijent rastvorljivosti gase u nafti
- γ – zapreminska masa tečnosti (nafte), (kg/m^3)

Količina gase koji vrši podizanje nafte i gasni faktor koji odgovara danoj količini, nazivaju se **EFEKTIVNIM gasnim faktorom**, koji je jednak:

$$G_e = G_0 - \frac{\alpha}{\gamma} \cdot \left(\frac{p_1 + p_2}{2} - 1 \right)$$

Ako bušotina sa naftom proizvodi i vodu, onda se efektivni gasni faktor treba odrediti na 1 t tečnosti – smjese koja se podiže.

Takav gasni faktor dat je u m^3/t tečnosti (smjese) i naziva se **OPŠTI gasni faktor ($G_{opšt}$)**, a određuje se po formuli:

$$G_{opšt} = G_0 \cdot \left(1 - \frac{V_{pr}}{100} \right)$$

gdje je:

V_{pr} – procenat vode na ukupnu tečnost

Kada bušotina zajedno sa naftom proizvodi i vodu, onda će opšti efektivni gasni faktor ($G_{opšt\ eff}$) biti jednak:

$$G_{opšt\ eff} = \left[G_0 - \frac{\alpha}{\gamma} \cdot \left(\frac{p_1 + p_2}{2} - 1 \right) \right] \cdot \left(1 - \frac{V_{pr}}{100} \right)$$

Uzimajući u obzir navedene faktore, uslov za erupciju bušotine bit će:

$$\left[G_0 - \frac{\alpha}{\gamma} \cdot \left(\frac{p_1 + p_2}{2} - 1 \right) \cdot \left(1 - \frac{V_{pr}}{100} \right) \right] \geq \frac{0,008 \cdot L \cdot [\gamma \cdot L - 10 \cdot (p_1 - p_2)]}{d^{0.5} \cdot (p_1 - p_2) \cdot \log \frac{p_1}{p_2}}$$

U ovom slučaju uzeto je u obzir da je tubing spušten do dna i da je pritisak u peti jednak pritisku formacije.

1. ODREĐIVANJE PREČNIKA TUBINGA

Prečnik tubinga se određuje na slijedeći način i pod slijedećim uslovima:

- da se obezbijedi optimalna proizvodnja bušotine u tok erupcionog perioda,
- da se omogući što duži period erupcije.

U cilju optimalnih uslova kretanja gasne- naftne smjese i iznošenja pijeska iz bušotine, tubing treba spustiti do filtera, odnosno u perforiranu zonu.

Prečnik tubinga (u colima) za rad na kraju erupcionog perioda pri režimu Q_{max} , može se odrediti iz izraza:

$$d = 0,074 \cdot \sqrt{\frac{\gamma \cdot L}{p_1 - p_2}} \cdot \sqrt[3]{\frac{Q \cdot L}{\gamma \cdot L - 10(p_1 - p_2)}}$$

gdje je:

L – dužina tubinga (m),

p_1 – pritisak u peti tubinga na kraju erupcionog perioda (bar),

p_2 – pritisak na ustima tubinga, na kraju erupcionog perioda (bar),

Q – proizvodnja na kraju erupcionog perioda (t/dan).

Na osnovu proračunate veličine prečnika tubinga uzima se prvi veći standardni prečnik tubinga, ili se uzima stepeničasta varijanta, kod koje je na donjem dijelu niza tubing manjeg prečnika, a u gornjem dijelu – tubing većeg prečnika.

Dužina sa istim prečnikom može da se odredi iz odnosa:

$$\frac{l_2}{L} = \frac{d - d_1}{d_2 - d_1}$$

gdje je l_2 - dužina gornjeg dijela (sa većim prečnikom) u m

L- ukupna dužina (m)

d-prečnik tubinga dobiven proračunom u colima

d_1 - najbliži manji standardni prečnik dobiven u colima

d_2 - najbliži veći standardni prečnik dobiven u colima

Primjena stepeničastog tubinga je podesna sa gledišta tehnološkog procesa ali se rijetko koristi zbog poteškoća u procesu eksploracije

Kada se odredi prečnik tubinga onda se po formuli

$$Q_{\max} = \frac{2500 \cdot d^3 (p_1 - p_2)^{1,5}}{\gamma^{0,5} \cdot L^{1,5}}$$

nađe njegova propusna sposobnost kod rada na režimu Q_{\max} pri početnim uslovima erupcije. Ako je dobijena proizvodnja manja od projektovane onda se ponovo određuje prečnik tubinga za početne uslove erupcije,

U tom cilju koristi se formula izvedena iz prethodne formule (11)

$$d = 0,073 \sqrt[3]{\frac{L}{p_1 - p_2} Q_{\max} \cdot \gamma^{0,5}} \dots\dots\dots(12)$$

Tubing ovakvog prečnika neće raditi sa maksimalnim koeficijentom korisnog dejstva na kraju erupcionog perioda; erupcija bušotine će prestati ranije nego u slučaju primjene tubinga, koji je preračunat za optimalne uslove na kraju perioda erupcije

U cilju produženja perioda erupcije postavlja se lijevak na peti tubinga tako što se šiti kraj lijevka okrene prema dnu bušotine. Zazor između lijevka i kolone iznosi ukupno 6mm. Lijevak ima zadatok da hvata i usmjerava u tubing gas koji dolazi iz sloja

Kod ustaljenog kretanja u tubingu bušotina će da daje onu količinu tečnosti i gasa, koja je došla iz sloja u bušotinu

Kretanje tečnosti i gasa kroz tubing podčinjava se uslovima kretanja smješte kroz vertikalno postavljene cijevi

Ako je tubing spušten do dna bušotine onda će pritisak u peti tubinga biti jednak pritisku na dnu bušotine

FIZIČKI PRINCIPI PROIZVODNJE NAFTE I GASA

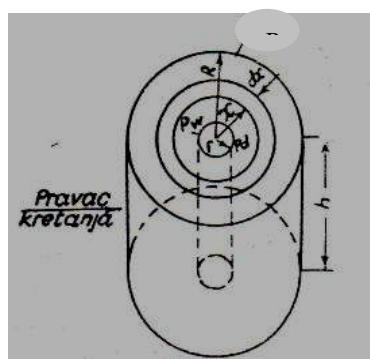
1. Pritok nafte i gasa u bušotinu

Pritok tečnosti (nafte) u bušotinu moguć je pri postojanju razlike između pritiska u ležištu i pritiska na dnu bušotine.

Nafta iz ležišta će pricicati radikalno u bušotinu po cijeloj površini bušotine, odnosno po cijeloj površini otvorenog dijela sloja. Sloj može da bude potpuno ili djelimično otvoren.

Bočna površina produktivnog intervala bušotine može da se predstavi kao površina cilindra, čiji je radijus jednak radijusu bušotine. Kod napucanog intervala u bušotini, bočna površina će biti jednaka sumi površina svih otvora.

Prije nego što nafta dođe u bušotinu prolazi kroz niz zamišljenih koncentričnih (u odnosu na bušotinu) cilindričnih površina koje se postepeno smanjuju srazmjerno sa približavanjem bušotini. Uslovi radikalnog pritoka nafte u bušotinu prikazani su na slici 1.



Slika 1-Radijalni pritok nafte

Oznake na slici su slijedeće: P_{sl} - slojni pritisak, R - poluprečnik drenažne zone (od Slojnog pritiska pa do pritiska na dnu bušotine), P_d — pritisak na dnu bušotine, h - moćnost sloja, x - neki radijus u drenažnoj zoni i dx — beskonačno mala dužina puta kretanja nafte kroz drenažnu zonu. r -radijus bušotine (po dlijetu)

Ako se kretanje nafte vrši pri veoma malim brzinama, onda je takvo kretanje podčinjeno linearnom zakonu filtracije, pri kome je količina pritoka nafte u bušotinu proporcionalna razlici slojnog pritiska i pritiska na dnu.

Količina pritoka nafte u bušotinu, prema Darsijevom zakonu će biti:

$$Q = \frac{k \cdot F \cdot \Delta P}{\mu \cdot \Delta L}$$

Ako se Darsijev zakon primjeni na kretanje nafte na rastojanju x od centra bušotine i na putu dx (slika 1), a za promjenu pritiska dP , onda se oznake u Darsijevoj formuli mogu zameniti sa sledećim:

$$\begin{aligned}\Delta P &= dP \\ F &= 2 \cdot x \cdot \pi \cdot h \\ \Delta L &= dx\end{aligned}$$

Prema tome će biti:

$$Q = \frac{k \cdot 2 \cdot x \cdot \pi \cdot h \cdot dP}{\mu \cdot dx} \quad \text{Integralenjem ove formule u granicama pritiska i puta dobija se}$$

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot h \cdot k \cdot \Delta P}{\mu \cdot \ln \frac{R}{r}}$$

gde su:

Q - proizvodnja bušotine u cm/sec

k - koeficijent propustljivosti u D

h - efektivna moćnost sloja u cm

ΔP - razlika između slojnog pritiska i pritiska na dnu

μ - dinamički viskozitet tečnosti u slojnim uslovima

R -drenažni radijus u bilo kojim jedinicama (u praksi se uzima kao polovina rastojanja između bušotina)

r - radijus bušotine (po dlijetu)

Ako je proizvodnja (pritok) za 24 sata data u tonama, moćnost sloja u metrima te daljim sređivanjem (logaritmiranjem-prirodni logaritam zamijeni dekadnim logaritmom) ove formule imamo:

$$Q = \frac{23,6 \cdot k \cdot \gamma \cdot h \cdot \Delta P}{\beta \cdot \mu \cdot \lg \frac{R}{r}} (t/24h)$$

gdje je

γ - specifična težina nafte,

β - zapreminske koeficijent nafte

Vrijednost za Q dobijena pri uslovima na površini za vrijeme od 24 sata.

Prethodna formula primjenjuje se za savršene bušotine u hidrodinamičkom smislu.

Pod hidrodinamički savršenom bušotinom smatra se ona bušotina koja je potpuno probušila sloj i kod koje je sloj potpuno otkriven, tj. u intervalu sloja ne postoji perforirana kolona ili filter.

Prema tome, na bočnoj površini nema otpora pritoku tečnosti u bušotini.

Da bi se sagledao uticaj prečnika bušotine na njenu proizvodnju, potrebno je razmotriti dvije bušotine sa radijusom r_1 i r_2 .

Obadvije bušotine su probušile isti sloj.

Proizvodnja (pritok) bušotine će tada biti:
bušotina 1

$$Q = \frac{23,6 \cdot k \cdot \gamma \cdot h \cdot \Delta P}{\beta \cdot \mu \cdot \lg \frac{R}{r_1}}$$

bušotina 2

$$Q = \frac{23,6 \cdot k \cdot \gamma \cdot h \cdot \Delta P}{\beta \cdot \mu \cdot \lg \frac{R}{r_2}}$$

- Odnos proizvodnji ove dvije bušotine je**

- Prema podacima V. N. Šćelkačeva (tabela 1) o promjeni odnosa proizvodnje prilikom promjene

prečnika bušotine i to za slučaj kada je $\frac{R}{l'} = 10^6$ i $\frac{R}{r} = 10^4$.

- Broj η prikazuje za koliko je puta uzeto povećanje prečnika bušotine
 - Iz tabele se vidi da se kod povećanja prečnika za dva puta proizvodnja povećava za 5% u prvom slučaju i 8% u drugom slučaju.
 - Hidrodinamički savršena bušotina praktično ne postoji, već se to razmatra samo u teoretskim proračunima.

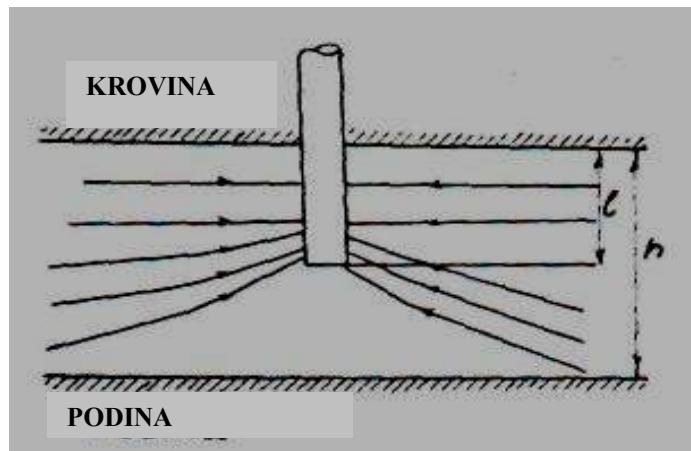
HIDRODINAMIČKI NESAVRŠENE BUŠOTINE

Na slici 2 prikazana je hidrodinamički nesavršena bušotina prema stepenu otkrivanja.

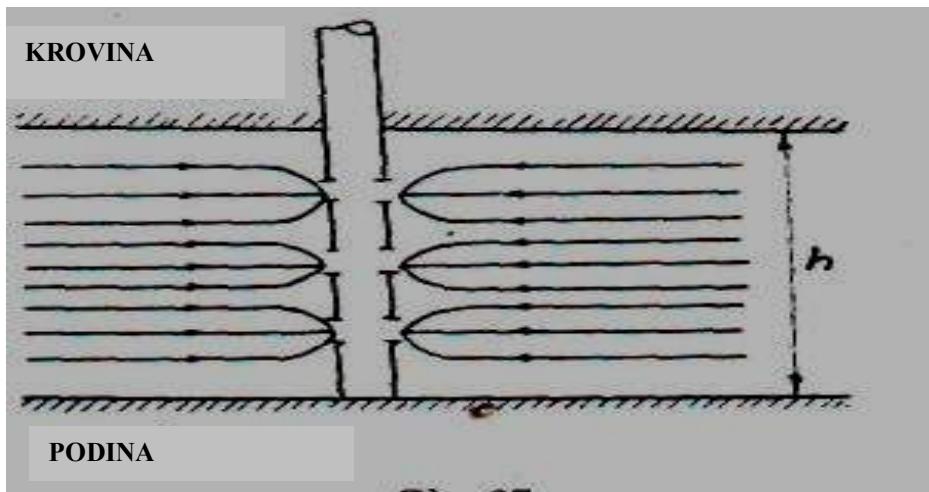
Sa h je označena ukupna moćnost sloja, a sa l moćnost sloja otvorena bušotinom

Slika 3 prikazuje nesavršenu bušotinu prema karakteru otkrivanja.

Veza između bušotine i sloja ostvarena je preko otvora napravljenih napucavanjem



Slika 2-Hidrodinamički nesavršena bušotina



Slika 3- Hidrodinamički nesavršena bušotina prema karakteru otkrivanja

Ukoliko su prečnici otvora veći u toliko će bušotina biti bliže savršenoj bušotini, pošto se povećava površina otvorenog sloja na jedan metar napucanog sloja.

Ravnomjerni raspored otvora po koloni također doprinosi savršenstvu bušotine.

Teoretski i praktično postoje granice za broj otvora i njihov raspored po koloni.

Prekoračenje tih granica ne daje bitnu promjenu u proizvodnji, a dovodi do slabljenja mehaničke otpornosti kolone. Proizvodnja nesavršene bušotine svakako će biti manja od proizvodnje savršene bušotine te se odnos između te dvije proizvodnje, kod nepromijenjenih ostalih uslova, naziva koeficijentom savršenstva bušotine. Vrijednost tog koeficijenta uvijek je manja od jedinice i izražava se u dijelovima jedinice. Hidrodinamički nesavršena bušotina može da se zamijeni sa fikтивno savršenom bušotinom, čiji će prečnik (fiktivni) biti mnogo manji, ali će proizvodnja biti ista kao kod nesavršene bušotine. Vrijednost koeficijenta savršenstva bušotine određuje se laboratorijski na elektrolitičkim modelima i provjerava se praktično u buštinama. V. I. Ščurov razradio je specijalne formule i krive pomoću kojih se može približno odrediti uticaj nesavršenstva bušotine na njenu proizvodnju. Ako se sa δ označi opšti koeficijent savršenstva bušotine, koja je nesavršena po stepenu i karakteru otkrivanja onda će formula za proizvodnju (pritok) bušotine biti:

$$Q = \frac{23,6 \cdot h \cdot k \cdot \gamma \cdot \delta \cdot \Delta P}{\beta \cdot \mu \cdot \lg \frac{R}{r}}$$

- Zbog nesavršenstva bušotine uslijed dopunskih otpora Ščurov je uveo u formulu 4 bezdimenzionalni koeficijent C te će formula biti

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot h \cdot k \cdot \Delta P}{\mu \cdot (\ln \frac{R}{r} + C)}$$

gdje su:

Q - u cm^3/sec

h - u cm

$C = C_1 + C_2$

C_1 - koeficijent za popravku koji uzima u obzir otpor uslijed nesavršenstva bušotine po karakteru otkrivanja sloja

C_2 - koeficijent za popravku koji uzima u obzir otpor u zavisnosti od stepena otkrivanja sloja

Ova dva koeficijenta su također bezdimenzionalni koeficijenti

Jedan od dva koeficijenta može da se izostavi ako je bušotina u **jednom smislu savršena, a u drugom nije.**

Postupak za određivanje koeficijenta C_1 sastoji se u sljedećem:

Najpre se odredi broj otvora n na 1 metar otkrivene moćnosti sloja.

$$n = \frac{N}{h_0}$$

gde su:

N — ukupan broj otvora

h_0 — ukupno otkrivena moćnost sloja u m

Poslije toga izračuna se parametar nD , gde je D prečnik bušotine u m uzet prema dlijetu kojim je izbušena bušotina.

Onda se odredi parametar l' prema formuli

$$l' = \frac{l'}{D}$$

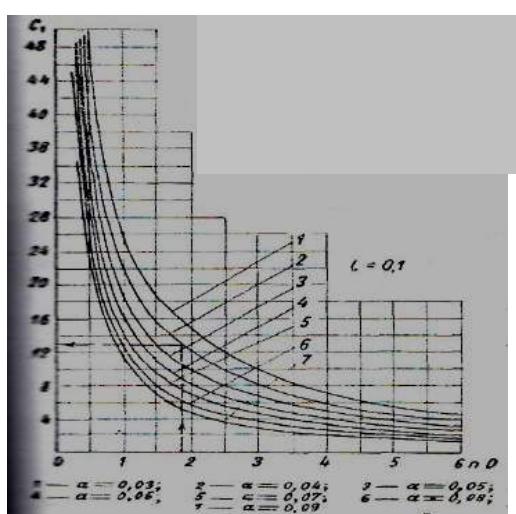
gdje je l' - dubina prodiranja kugle u sloju u cm; najčešće se uzima da je $l' = 4$ cm; (Prečnik bušotine ovde je uzet u cm).

Na kraju se odredi parametar a po formuli

$$a = \frac{d'}{D}$$

gde je d' - prečnik metka (kugle) ili otvora u cm (obično se uzima $d' = 1,1$ cm).

Prema parametru l odabire se grupa krivih. Slika 4 prikazuje grupu krivih za $l = 0,1$.



Slika 4- Krive za l=0,1

Sa apscise za vrijednost nD povlači se upravna do presjeka sa krivom koja odgovara vrijednosti parametra a. Od tačke presjeka vuče se horizontalno do presjeka sa ordinatom, gde se dobija vrijednost koeficijenta C₁. Kod određivanja koeficijenta C₂ najpre se određuje parametar p koji predstavlja odnos otkrivene (napucane) moćnosti sloja prema ukupnoj njegovoj moćnosti tj.

$$p = \frac{H}{h} \cdot 100\%$$

gde je: H - napucana moćnost sloja i
h - ukupna moćnost sloja.

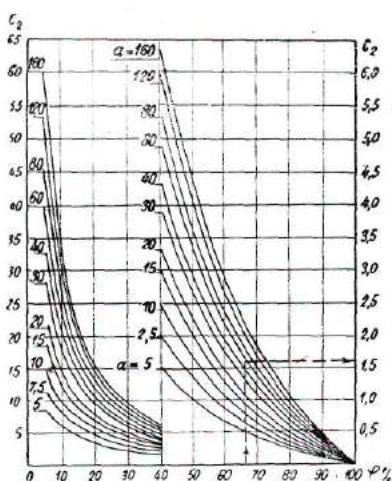
Zatim se određuje parametar a po formuli

$$a = \frac{h_0}{D}$$

gde je: h₀-ukupna otkrivena moćnost sloja u m,
D - prečnik bušotine, u m.

Prema vrijednosti parametra p (slika 5) na apcisi i krivoj koja odgovara parametru »a« nalazi se na ordinati vrednost koeficijenta C₂

Koja će se razmjera sa slike koristiti zavisi od vrijednosti parametra p



Slika 5-Vrijednosti za parametar p
ko se zamjeni nesavršena bušotina sa njoj ekvivalentnom, savršenom bušotinom, čiji je radijus znatno manji (kao što je ranije pomenuto), onda formula za pritok bušotine može da se napiše:

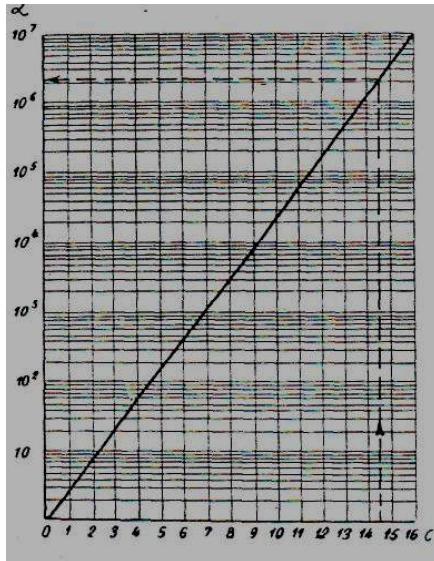
$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot h \cdot k \cdot \Delta P}{\mu \cdot \ln \frac{R}{r_s}}$$

gde je

r_s - svedeni (fiktivni) radijus, koji može da se odredi pomoću grafikona prikazanog na slici 6 ili

pomoću formule

$$C = \ln \frac{r}{r_s}$$



Slika 6 grafikon za određivanje vrijednosti r_s

Kod korišćenja grafikona na apscisi se najpre nađe odgovarajuća vrijednost za C pa se povuče upravna do presjeka sa dijagonalom grafikona, odakle se povuče horizontalna linija u lijevo i na ordinati se očita vrijednost parametra α . Dijeljenjem stvarnog radijusa sa parametrom α dobiva se fiktivni radius savršene bušotine

$$r_s = \frac{r}{\alpha}$$

Formule 10 i 11 treba da daju iste rezultate pri zamjeni odgovarajućih vrijednosti.
Do sada iznijete formule su pogodne za filtraciju nestišljivih tečnosti i mogu da se primjene i za stišljive tečnosti kao što su nafta i slojna voda. To znači, da se ne mogu primjeniti u slučaju dvofaznog kretanja (nafta sa slobodnim gasom) Kod kretanja gazeificirane tečnosti, tj. kod dvofaznog kretanja, formula za pritok tečnosti dobija slijedeći oblik

$$Q_t = \frac{23,6 \cdot h \cdot k \cdot \gamma \cdot \delta \cdot \Delta H}{\beta \cdot \mu_t \cdot \lg \frac{R}{r}}$$

gdje je

Q_t - proizvodnja tečnosti u t/24 h

μ_t - viskozitet tečnosti u slojnim uslovima

$\Delta H = H_{sl} - H_d$ - određuju se prema poznatim podacima P_{sl} , P_d i ΔP i nazivaju se funkcijama pritiska.

OSNOVE TEORIJE PODIZANJA TEČNOSTI U BUŠOTINAMA

1. ENERGETSKI BILANS U BUŠOTINI

Pritok tečnosti i gasa u buštinu vrši se pod dejstvom razlike slojnog pritiska (1) i pritiska na dnu bušotine (2).

Proces eksploracije sastoji se u podizanju tečnosti i gasa sa dna bušotine do površine.

Proces dizanja tečnosti do površine može se vršiti pod dejstvom prirodne energije (w_p), ili pod dejstvom dovedene energije (w_u).

Smješta tečnosti i gasa poslije prolaska opreme na ustima bušotine odlazi u separator, razdvaja se i potom odlazi u sabirni naftovod, odnosno gasovod.

Kako bi se tečnost ili gas kretali kroz pogonske cjevovode, potrebno je na ustima bušotine održavati određen pritisak.

Nakon izloženog, možemo sastaviti slijedeći bilans energije:

$$(w_p + w_u) - (w_1 + w_2) = w_3$$

gdje je:

w_1 – energija koja se utroši na podizanje tečnosti i gasa od dna bušotine do usta,

w_2 – energija koja se utroši za prolaz tečnosti i gasa kroz opremu na ustima bušotine,

w_3 – energija koja odlazi sa naftom i gasom poslije prolaska opreme na ustima bušotine,

w_p – energija prirodnog položaja sloja – dubine uslijed pritiska nadlojnih masa formacija,

w_u – uvedena energija u bušotine ljudskom inicijativom, tj. dovedena sa strane.

Eksploracija pri kojoj se podizanje tečnosti i gasa vrši pod dejstvom prirodne energije, tj. kada je $w_u = 0$, naziva se eksploracija erupcijom.

Ako se energija uvodi u bušotinu u obliku komprimiranog gasa ili vazduha pomoću uređaja, onda se takva eksploracija naziva mehaničkom.

Potencijalna energija zavisi od pritiska na dnu, koji je u funkciji dubine.

Jedna tona (1 t) tečnosti posjeduje potencijalnu energiju kako prikazuje slijedeća jednačina:

$$w_{tone} = 1000 \cdot h = 1000 \cdot \frac{10(p_d - p_{at})}{\gamma}$$

gdje je:

h – visina podizanja tečnosti od dna do dinamičkog nivoa

p_d – pritisak na dnu (bara ili Pa),

p_{at} – pritisak na ustima bušotine, atmosferski pritisak

γ – zapreminska gustina tečnosti (kg/m^3).

Uzme li se u obzir da se širenje slobodnog gazu, koji se nalazi u bušotini odvija po izotermičkom procesu od pritiska na dnu do atmosferskog pritiska, onda će se energija gazu odrediti prema slijedećem obrascu:

$$w_g = G_0 \cdot p_{at} \cdot \ln \frac{p_d}{p_{at}}$$

gdje je:

G_0 – zapremina slobodnog gazu koji se izdvojio iz jedne tone nafte i u slobodnom obliku ušao na dno bušotine (m^3/t),

p_{at} – atmosferski pritisak ($10\ 000 \text{ kg/m}^2$).

G_0 se određuje pri atmosferskom pritisku i slojnoj temperaturi. Gas se teško sav može izdvojiti iz nafte bez upotrebe posebnih mjeru, tako da ga recimo u vijek ima u nafti koja se kreće kroz bušotinu na gore, pri prolazu na ustima bušotine, u vodovima, te u separatoru, gdje se obično tek tada sav izdvoji iz nafte. Energija gasno-tečne smješte koja se troši na podizanje 1 t smješte tečnosti pri promjeni pritiska od p_d (pritisak na dnu) do p_u (pritisak na ustima), koji je obično jednak atmosferskom (p_{at}), glasi:

$$w_t = 10^4 \cdot \left(\frac{p_d - p_u}{\gamma} + G_0 \cdot \ln \frac{p_d}{p_u} + A_1 \right)$$

gdje je:

A_1 – energija gazu koji se izdvojio iz nafte pri promjeni pritiska od p_d do p_u

Na ustima bušotine ne mora u vijek vladati atmosferski pritisak, nego se na ustima obično održava izvjestan protiv pritisak (p_u).

2. PODIZANJE TEČNOSTI POD DEJSTVOM HIDROSTATIČKOG PRITISKA

Pri ustaljenom režimu kretanja tečnosti kroz bušotinu pritisak na dnu (p_d) će biti u ravnoteži sa pritiskom stuba tečnosti (p_t) u bušotini, pritiskom na ustima bušotine (p_u), pritiskom koji se troši na savladivanje trenja pri kretanju (p_{tr}) i pritiskom koji se troši na brzinu kretanja (p_b). Prema tome, jednačina kretanja u opštem obliku će biti:

$$p_d = p_t + p_{tr} + p_b + p_u$$

Kroz tubing se, tokom perioda od 24 sata, ostvari određena proizvodnja nafte.

Brzina kretanja tečnosti kroz tubing izračunava se po slijedećem obrascu:

$$v = \frac{Q}{\gamma \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60}$$

gdje je:

Q – proizvodnja bušotine (t/dan),
 γ – relativna zapreminska gustina tečnosti (kg/m^3),
 d – unutrašnji prečnik tubinga (m).

Kretanje tečnosti kroz tubing može da ima ili laminarni, ili turbulentni režim, od čega će zavisiti vrijednost koeficijenta hidrauličkog otpora (λ).

Režim kretanja se određuje vrijednošću Rejnoldsovog broja (Re), koji se izračunava po slijedećem obrascu:

$$\text{Re} = \frac{v \cdot d}{\eta}$$

Gdje je:

d – unutrašnji prečnik tubinga m
 v – brzina kretanja tečnosti kroz tubing m/s
 η – kinematički viskozitet tečnosti (m^2/s)

Ako je $\text{Re} < 200$, onda će režim kretanja biti laminaran, i suprotno, ako je $\text{Re} > 200$ onda će režim kretanja biti turbulentan. Stoga, pri laminarnom režimu, koeficijent hidrauličkog otpora iznosi:

$$\lambda_e = \frac{64}{\text{Re}}$$

dok isti koeficijent pri turbulentnom režimu iznosi:

$$\lambda_t = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{\text{Re}}}$$

Energetska strana procesa erupcije najbolje se vidi kroz slijedeći izraz:

$$\mu = \frac{1}{1 + \lambda \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g \cdot d}}$$

gdje je:

λ – koeficijent hidrauličkog otpora,
 μ – koeficijent korisnog dejstva procesa erupcije,
 v – brzina kretanja nafte kroz tubing (m/s),
 d – unutrašnji prečnik tubinga (m).

Iz gornjeg izraza vidljivo je da koeficijent korisnog dejstva podizanja (proizvodnje) tečnosti ne zavisi od dubine bušotine, već od brzine tečnosti i unutrašnjeg prečnika tubinga.

PODIZANE TEČNOSTI POD DEJSTVOM EKSPANZIJE GASA

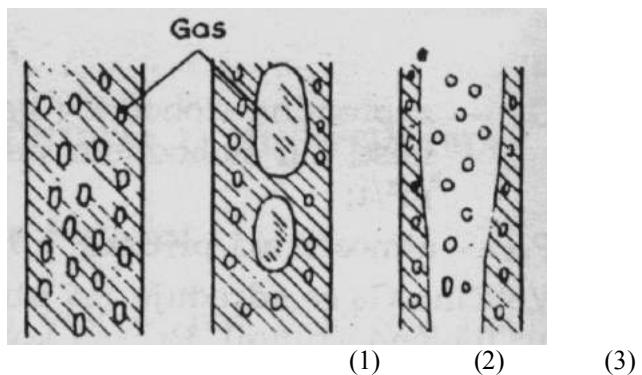
Gas u tečnosti posjeduje silu podizanja tečnosti u bušotini. Energija djeluje u obliku pritiska na tečnost (1) i u obliku trenja između tečnosti i gasa (2). Sastav smjese na potezu od dna do usta je različit, što zavisi od:

zapreminskog odnosa gasa i tečnosti,
srednje brzine kretanja smjese i
prečnika cijevi kojom se obavlja kretanje.

Ako je u smjesi mala količina gasa, onda će on biti raspoređen u obliku mnoštva sitnih mjeđurića. Pri većem odnosu gasa i tečnosti smještuće će predstavljati naizmjenični stubići tečnosti ispunjeni sitnim mjeđurićima gase, i stubići gase ispunjeni sitnim kapljicama tečnosti. Ako se radi o velikoj količini gase, onda će se tečnost kretati duž zida cijevi, a gas će se kretati sredinom tečnog prstena, pri čemu se u gasu mogu nalaziti kapljice tečnosti. Na slici 1, predstavljena su tri struktura oblika – režima kretanja gasno - naftne smjese.

Ako se radi o velikoj količini gase, onda će se tečnost kretati duž zida cijevi, a gas će se kretati sredinom tečnog prstena, pri čemu se u gasu mogu nalaziti kapljice tečnosti.

Na slici 1, predstavljena su tri struktura oblika – režima kretanja gasno - naftne smjese.



SLIKA 1 – Strukturalni oblici – režimi gasno – naftne smješte

Prva struktura (1) ima naziv "pjenasti" režim, drugi (2) se naziva "čisti" režim, a treći (3) se zove "magličasti" režim. Pri kretanju gasno – naftne smjese postoje i drugi, prelazni oblici između prikazanih oblika. Na primjer, u donjem dijelu tubinga, gdje je pritisak veći, mjehurići su manjih dimenzija, što bi odgovaralo prvom režimu. U srednjem dijelu bušotine može doći do prelaska u drugi režim, a na ustima bušotine, gdje su brzine kretanja veće ili vrlo velike (dizna), može se očekivati postojanje trećeg režima kretanja. Prilikom kretanja smjese kroz vertikalne cijevi (tubing), ista treba da ima dovoljno pritiska (energije) koja će se utrošiti na dizanje tečnosti – smješte i na trenje o zidove cijevi i uslijed različitih brzina kretanja tečnosti i gasa. Gas se kreće brže nego tečnost, što izaziva "klizanje" gasa kroz tečnost.

Takvi gubitci nazivaju se "gubitci klizanja", odnosno "relativnog kretanja".

Prema izloženom, pad pritiska između pete i usta (u metrima vodenog stuba) će biti:

$$\Delta h = h_k + h_{kl} + h_{tr}$$

gdje je:

Δh – pad pritiska između pete i usta bušotine (m)

h_k – potreban pritisak za izvršenje korisnog rada (m)

h_{kl} – pritisak utrošen zbog "klizanja", odnosno relativnog kretanja gasa

h_{tr} – pritisak utrošen na savladavanje sile trenja (m)

1.0. SISTEM -ANALIZA RADA NAFTNIH I GASNIH BUŠOTINA

Brown, Mach, Proano i drugi došli na ideju da se optimizacija naftnih i gasnih proizvodnih sistema mora bazirati na analizi fizike protoka fluida u jednom jedinstvenom hidro i termodinamičkom sistemu, pri čemu se unutar fiksnih tački (slojni i separatorski pritisak) odvijaju procesi transformacije ulazne mase i energije, praćeni neprekidnim irreverzibilnim gubicima energije,

Ideja o sistem (NODAL - komercijalni naziv Flopetrol-Johnston-Schlumberger) analizi svakim danom postaje sve aktuelnija i savremnija, posebno zahvaljući primjeni računara.

Razvoj računara i primena novog načina razvoja programa (objektno orijentisano programiranje) omogućilo je da se kompleksni proračuni iz oblasti jedno i višefaznog protoka fluida kroz porni prostor, perforacije, niz vertikalnih (ili kosih) cijevi u bušotini i kroz horizontalni cjevovod na površini realizuje vrlo brzo, dajući mogućnost inženjerima specijalistima da pravilnom interpretacijom dobijenih rezultata utvrde uzrok mogućeg smanjenja proizvodnje i izvrše optimizaciju procesa proizvodnje.

1.1. KARAKTERISTIKE SISTEM ANALIZE

Na slici 1 šematski je prikazan proizvodni sistem i mogući položaj fiksnih - nodalnih tačaka za analizu, sa precizno definisanim segmentima u kojima dolazi do gubitka pritiska, odnosno nepovratnog gubitka energije protoka.

Označeni gubici pritiska odnose se na područja:

I- ΔP_r -pad pritiska pri protoku kroz ležište,

II- ΔP_{perf} -pad pritiska pri protoku kroz perforacije i gravel-pack (pad pritiska pri protoku kroz opremu dna bušotine),

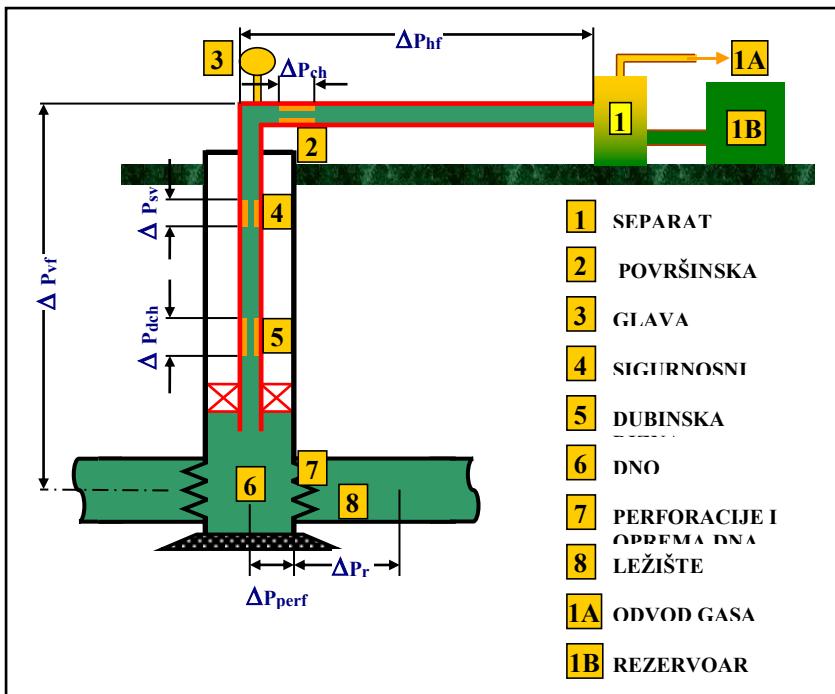
III- ΔP_{vf} -pad pritiska pri vertikalnom protoku,

IV- ΔP_{dch} -pad pritiska kroz dubinsku diznu ili drugu opremu manjeg prečnika,

V- ΔP_{sv} -pad pritiska kroz sigurnosni ventil,

VI- ΔP_{ch} -pad pritiska kroz diznu na površini,

VII- ΔP_{hf} -pad pritiska pri horizontalnom protoku fluida.



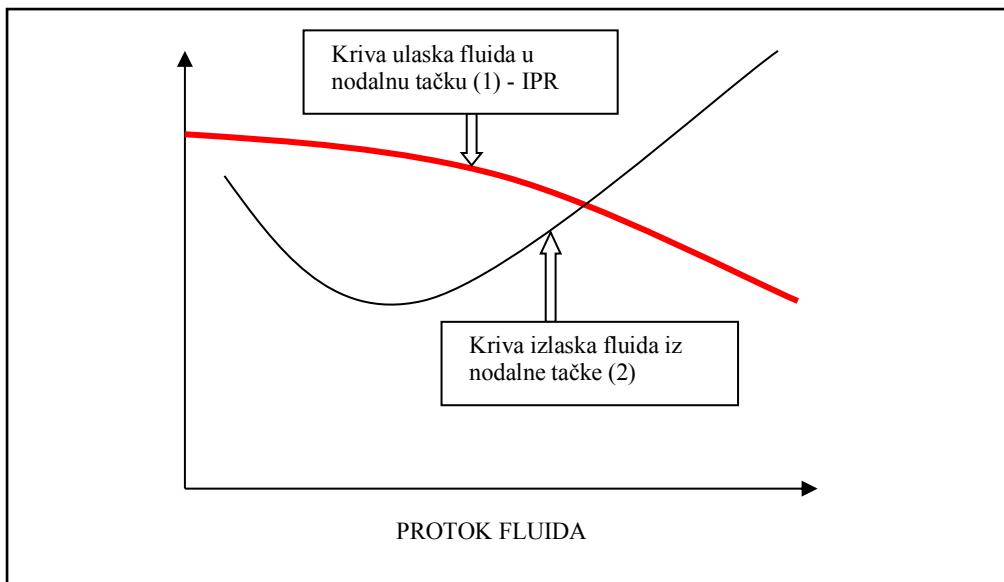
Slika 1 – Položaj mogućih nodalnih tačaka i gubici pritiska u proizvodnom sistemu (po Mach, Proano i Brown)

Sa slike se vidi da postoji osam čvornih (nodalnih) tačaka u proizvodnom sistemu, ali se u većini slučajeva kao tačke rješenja uzimaju dno i glava bušotine. Izabrane tačke rješenja zavise od toga koja komponenta proizvodnog sistema se izdvaja da bi se analizirao njen uticaj na ponašanje cijelokupnog proizvodnog sistema. Ukoliko se tačka rješenja nalazi na dnu bušotine, onda se može izvršiti detaljna analiza uticaja ležišta kao jedne od komponenti proizvodnog sistema.

Na sličan način se izvodi i analiza ostalih komponenti, mijenjanjem položaja izabrane tačke rešenja. Pad pritiska u bilo kojoj izabranoj tački je funkcija protoka fluida i mijenja se promjenom protoka. Potencijalna proizvodnja bušotine predstavlja presjek dvije karakteristične krive, kao što je prikazano na slici 2, od kojih jedna predstavlja krivu pritoka fluida u buštinu, odnosno, nodalnu tačku (kriva 1 na slici 2) ili IPR krivu.

Tačka analize je u ovom slučaju dno bušotine.

Druga funkcionalna kriva (kriva 2) predstavlja krivu izlaska fluida iz nodalne tačke, odnosno, krivu dinamičkog pritiska na dnu bušotine, koja se dobija na osnovu padova pritiska kroz komponente proizvodnog sistema sa druge strane izabrane nodalne tačke



Slika 2– Određivanje potencijalne proizvodnje bušotine primjenom NODAL analize

U slučaju da se tačka analize nalazi na dnu bušotine dinamički pritisak na dnu je parametar koji razdvaja protok fluida kroz buštinu.

Kriva pritoka fluida u nodalnu tačku i kriva izlaska fluida iz nodalne tačke mogu se definisati na slijedeći način:

$$P_r - \Delta P_r - \Delta P_{per} = P_{wf} \quad \text{IPR – kriva ulaska fluida u nodalnu tačku 6 (kriva 1)}$$

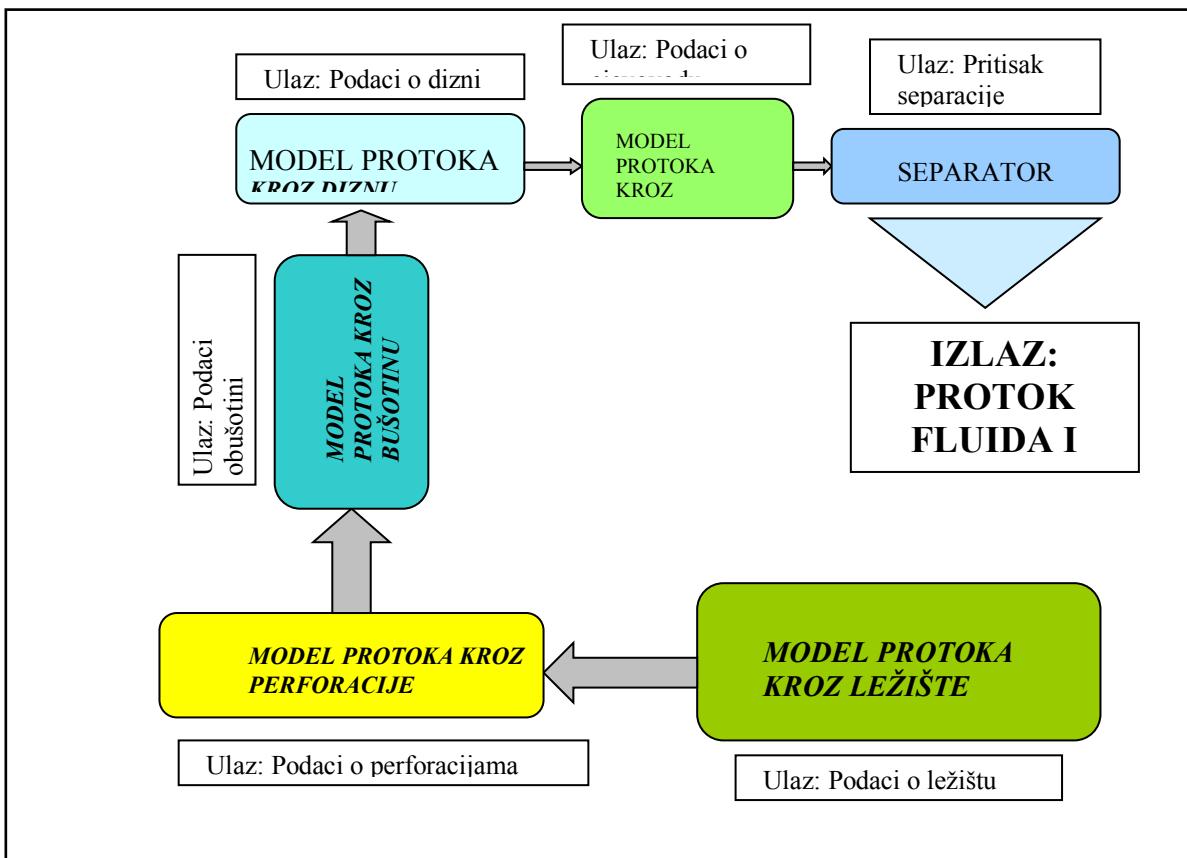
$P_{sep} + \Delta P_{hf} + \Delta P_{vf} = P_{wf}$ VLP – kriva izlaska fluida iz nodalne tačke (kriva 2); dobija se na osnovu proračuna vertikalnog protoka fluida.

Ako se tačka rješenja nalazi na površini (glava bušotine), jednačine za određivanje pritiska na glavi bušotine (izabranoj nodalnoj tački) su:

$$P_r - \Delta P_r - \Delta P_{per} - \Delta P_{vf} = P_{wh} \quad \text{– kriva ulaska fluida u nodalnu tačku 3}$$

$$P_{sep} + \Delta P_{hf} = P_{wh} - VLP \quad \text{– kriva izlaska fluida iz nodalne tačke}$$

Na osnovu svega opšta matematička osnova sistem analize je relativno jednostavna i može se lako



razumjeti. Nekoliko različitih modula jedinstvenog proizvodnog sistema, su povezani u jedinstveni dinamički model karakteristike rada bušotine kao što je prikazano na slici 3.

Slika 3 – Struktura modela karakteristike rada bušotine

PRIMJENA SISTEM ANALIZE

Nodal analiza se može uspješno primjeniti kako za razmatranje rada eruptivnih, tako i za projektovanje i analizu bušotina sa mehaničkom metodom eksploracije nafte ukoliko se uticaj primjenjene mehaničke metode na pritisak u sistemu može izraziti kao funkcija protoka fluida.

Postupak sistem analize se, uz odredene modifikacije analitičkih modela za proračun ulazne i izlazne krive iz nodalne tačke, primjenjuje za analizu karakteristika injekcionih bušotina za vodu i gas. U novim bušotinama sistem analiza se koristi za simulaciju očekivanih uslova koji su neophodni za projektovanje opremanja bušotine i izbor najbolje konfiguracije podzemne opreme bušotina. Saznanja do kojih se dolazi upotreboom sistem analize, primjenjuju se na slijedeće specifične probleme:

Predviđanje uticaja pada ležišnog pritiska na proizvodne karakteristike bušotine,

Izbor odgovarajućih geometrijskih parametara perforacije sa potrebnom analizom uslova i tehnike perforiranja,

Procjenu uspješnosti izvršenih stimulativnih radova na pribušotinskoj zoni i ležištu,

Projektovanje gravel-pack sistema i predviđanje ponašanja bušotine sa gravel-pack sistemom,

Određivanje optimalnog prečnika tubinga i definisanje načina opremanja bušotine,

Analiza uticaja restrikcija protoka na ukupno ponašanje proizvodnog sistema,

Priprema podataka za projektovanje mehaničke metode eksploracije,

Optimalno rasporedivanje utisnute količine gasa za ostvarivanje ekonomičnog rada bušotine u gasliftu,

Procjena uticaja gasa na zapreminsku efikasnost rada dubinskih pumpi,

Određivanje potrebne snage kompresora za optimalan rad bušotine u gasliftu,

Definisanje uticaja kompresora na karakteristike rada gasnih bušotina,

Određivanje uslova rasterećenja gasnih bušotina pri povećanom sadržaju vode i kondenzata u gasu i minimalne brzine gase za efikasno iznošenje akumulirane tečne faze na dnu gasne bušotine. Postupak sistem analize je fleksibilan pristup koji omogućava brzu dijagnozu problema u radu proizvodnih i injekcionih bušotina i određivanje parametara za ostvarivanje optimalnih uslova proizvodnje. Uspješna primjena sistem analize je moguća ukoliko su izabrani odgovarajući modeli za proračun pada pritiska u bilo kom dijelu proizvodnog sistema, kao što je prikazano na slici 1.

Pad pritiska ne zavisi samo od protoka fluida, već takođe od dimenzija i ostalih karakteristika pojedinačnih modula sistema. Pogrešan izbor korelacija i korišćenje netačnih ulaznih podataka može dovesti do velikih grešaka u procjeni proizvodnih mogućnosti i karakteristika bušotine.

Rad mnogih bušotina za naftu i gas nije regulisan na takav način da se ostvaruju optimalni uslovi proizvodnje. Vrlo čest razlog za to je i primjenjena metoda opremanja dna bušotine, koja ne omogućava ostvarivanje realnih proizvodnih mogućnosti bušotine. Ako je primjenjena i mehanička metoda eksploracije tada se uslijed neadekvatno izabranih tehnoloških parametara rada ne dobija potrebna efikasnost rada.

Primjena sistem analize može doprinjeti poboljšanju tehnike opremanja, izboru one geometrije bušotine koja će omogućiti efikasno dreniranje ležišta i korišćenje ležišne energije, minimiziranje energetske potrošnje i ekonomičniju eksploraciju.

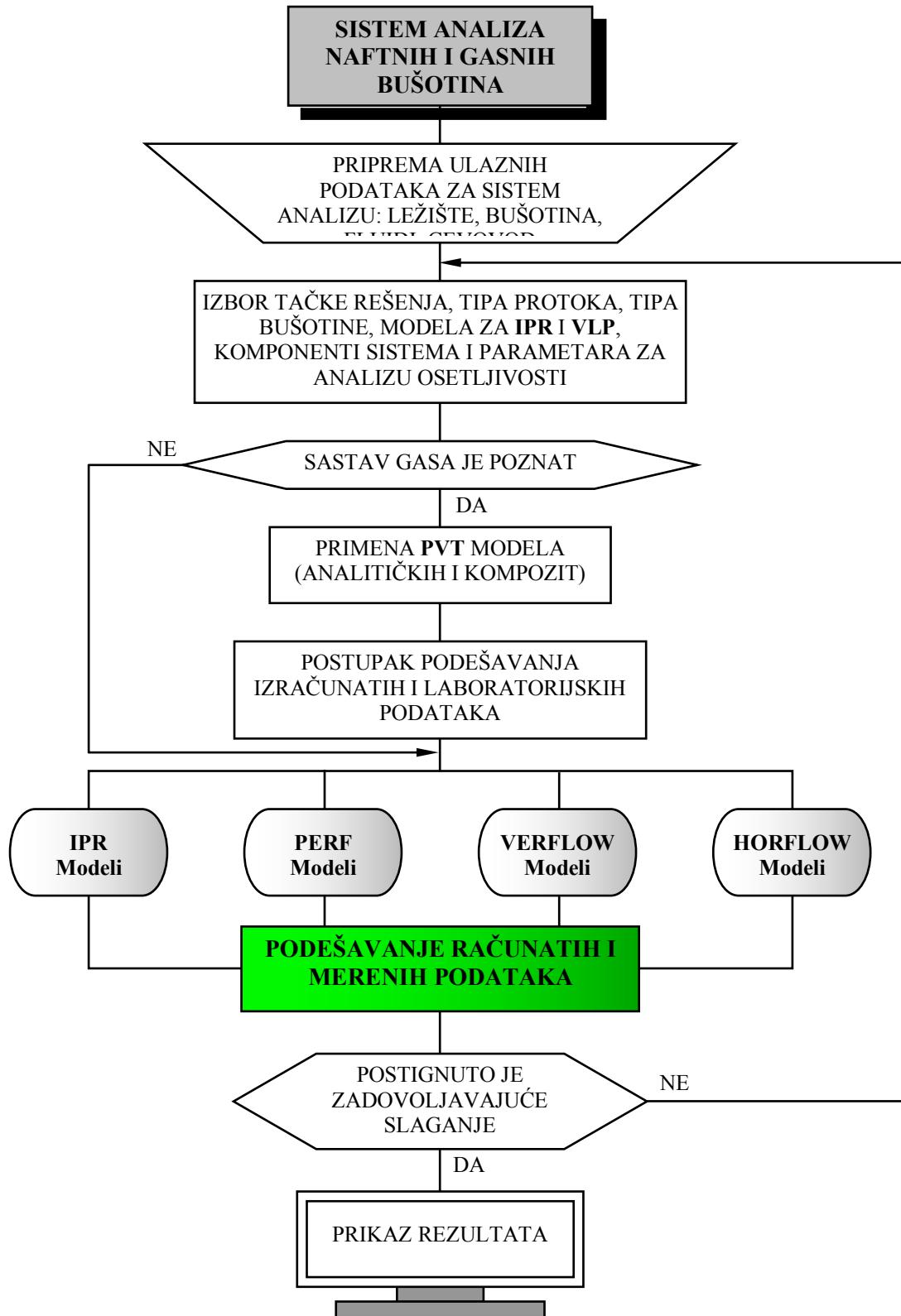
**ZAVRŠEN PRVI KOLOKVIJ NAPOMENA
PITANJA SA VJEZBI STE DOBILI OD
KOLEGICE MERIME**

Procedura podešavanja stvarne I očekivane proizvodnje

Osnovni zahtev za analizu proizvodnih mogućnosti bušotina je određivanje sadašnje karakteristike utoka fluida u buštinu. Da bi se to ostvarilo potrebno je raspolagati kvalitetnim podacima testiranja i mora se izabrati odgovarajući model IPR uzimajući u obzir karakteristike ležišnog sistema i kvalitet raspoloživih podataka.

Nakon toga se mogu izabrati modeli za ostale komponente proizvodnog sistema da bi se definitivno predvidele karakteristike rada bušotine. Da bi se izvela optimizacija rada proizvodnog sistema, bilo koja komponenta se mora analizirati odvojeno, a nakon toga se vrši procena ponašanja celog sistema.

Uticaj promene parametara za bilo koju komponentu proizvodnog sistema je od velike važnosti za ceo sistem i može se grafički prikazati. Na slici 4 prikazan je opšti algoritam novog modela sistem analize rada bušotina.



Slika .4 – Opšti dijagram toka jedno-parametarske sistem analize bušotina

Kao što se može videti sa prikazanog dijagrama, predviđa se korišćenje dvostepene procedure podešavanja izračunatih i merenih podataka. Ovakav pristup treba da obezbedi pouzdano predviđanje budućeg ponašanja bušotine i dobru karakterizaciju fluida. Dvostepena procedura podešavanja stvarne i očekivane proizvodnje pri izvođenju sistem analize obuhvata:

1 – Priprema ulaznih podataka za sistem analizu.

Podaci o bušotini (dubina, unutrašnji prečnik eksploracione kolone, spoljni i unutrašnji prečnik tubinga, hraptavost cevi, pritisak i temperatura na glavi bušotine, unutrašnji prečnik i dužina cevovoda, prečnik i položaj dizne, gradijent fluida u bušotini, podaci testiranja bušotine itd.)

Podaci o fluidu (sastav gasa, nafte i vode, sadržaj vode, zapreminska masa nafte, kondenzata, gasa i vode, PVT karakteristike nafte, gasa i vode, ...).

Karakteristike ležišta (pritisak, temperatura, drenažni radijus bušotine, ukupna i efektivna moćnost otvorenog sloja, poroznost, propusnost, anizotropnost, ukupni kompresibilitet sistema, skin faktor,...).

Podaci o opremanju (broj perforacija po metru otvorenog intervala, prečnik i dužina perforacije, tip opremanja, propusnost kompaktne zone oko perforacija, način i uslovi otvaranja proizvodnog intervala, podaci o gravel-pack sistemu,...).

Podaci o karakterističnim funkcionalnim krivama sistem analize (kriva utoka - IPR i kriva karakteristike vertikalnog protoka-VLP, parametri za analizu osjetljivosti sistema).

2 – Karakterizacija ugljovodonika primenom modeliranja sastava ugljovodonika.

3 – Iterativna procedura podešavanja i upoređivanje izračunatih i laboratorijskih podataka (prvi stepen podešavanja).

4 – Izbor jednog parametra za izvođenje klasične sistem analize ili nekoliko parametara za multivarijantnu analizu.

5 – Izbor tačke rešenja u kojoj će se izolovati uticaj promene izabranog parametra za analizu osjetljivosti sistema.

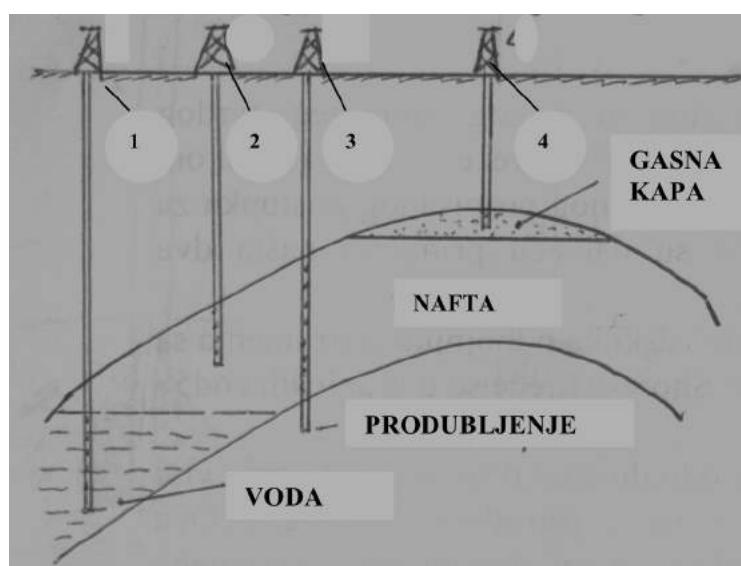
6 – Izbor odgovarajućih metoda za određivanje funkcionalnih krivih sistem analize u izabranoj tački (kriva ulaska i izlaska fluida iz nodalne tačke).

7 – Grafički prikaz rezultata sistem analize i ispitivanje uticaja promene izabrane komponente na proizvodne mogućnosti bušotine. Upoređivanje izlaznih (izračunatih podataka) sa podacima merenja proizvodnje na polju.

8 – Ako je dobijeno zadovoljavajuće mečovanje izračunatih i realnih podataka proizvodnje, izabrati i ispitati uticaj sledećeg parametra za analizu osjetljivosti sistema.

OPREMA DNA BUŠOTINE

Zbog svoje važnosti u proizvodnom procesu dobivanja nafte, mora se voditi posebna pažnja o dubini dna bušotine, koja zavisi od položaja bušotine na naftnoj strukturi. Najbolji i najpovoljniji uslovi pritoka nafte u kanal su onda kada je sloj otkriven po svojoj moći, od krovine do podine. Na slici 1, prikazan je mogući raspored bušotina na jednoj strukturi i načini na koje su situirana dna bušotina.

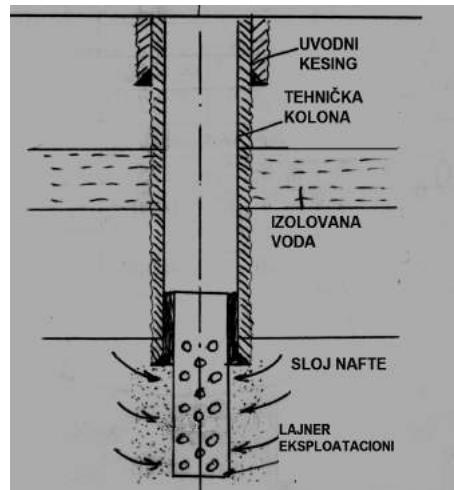
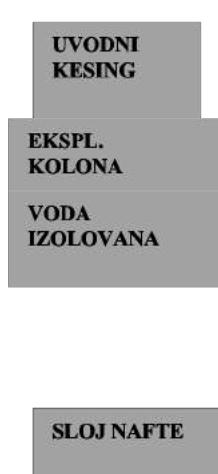


SLIKA 1: Shema mogućeg rasporeda bušotina na strukturi

Bušotina 1 nalazi se u vodonosnoj zoni strukture, ona je negativna i u toku odmakle proizvodnje može se koristiti kao injekciona bušotina. Bušotina 2 ima dobru naftnu poziciju, ne treba je produbljivati, jer će ući u slojnu vodu. Bušotina 3 ima najpovoljniji položaj na strukturi, jer je otvorila cijelu moćnost sloja, a i ušla je u podinu! Produbljenje može da služi za sakupljanje pijeska tokom eksploatacije, koji sa fluidom dolazi iz sloja. Bušotina 4 ima dno koje se nalazi u gasnoj kapi. Ovu bušotinu ne treba eksplorirati, jer gas veoma efikasno služi za proizvodnju nafte tokom eksploatacije – kod gasnog režima. Kod projektovanja bušotinske konstrukcije mora se predvidjeti izolacija vodonosnih, gasnih i naftnosnih slojeva, kao i odgovarajući kvalitet kolone u pogledu formacijskih pritisaka uz odgovarajuće koeficijente sigurnosti, kao i hemijski sastav u pogledu otpora na agresivnosti slojnih fluida. Na slici 2/a, eksploraciona kolona je spuštena od usta bušotine do dna.

Cementacijom je izvršena izolacija vodonosnog sloja do naftnosnog sloja. Ovaj način opremanja dna daje cementiranu površinu sloja, i vez sloja sa bušotinom ostvaruje se kroz perforaturu, ostvarenu napucavanjem u bušotini u nivou proizvodnog sloja.

Na slici 2/b, prikazana kolona je zatvorila vodonosni sloj, a spuštena je do krovine naftonosnog sloja, a potom cementirana. Kroz sloj je ugrađen lajner, pošto je prethodno perforiran. Hermetizacija dvaju kolona izvršena je pomoću pakera. Ova konstrukcija ima prednosti, ne zahtijeva cementaciju u predjelu sloja i ima olakšan ulaz nafte u lajner.



SLIKA 2/a

Podzemna oprema

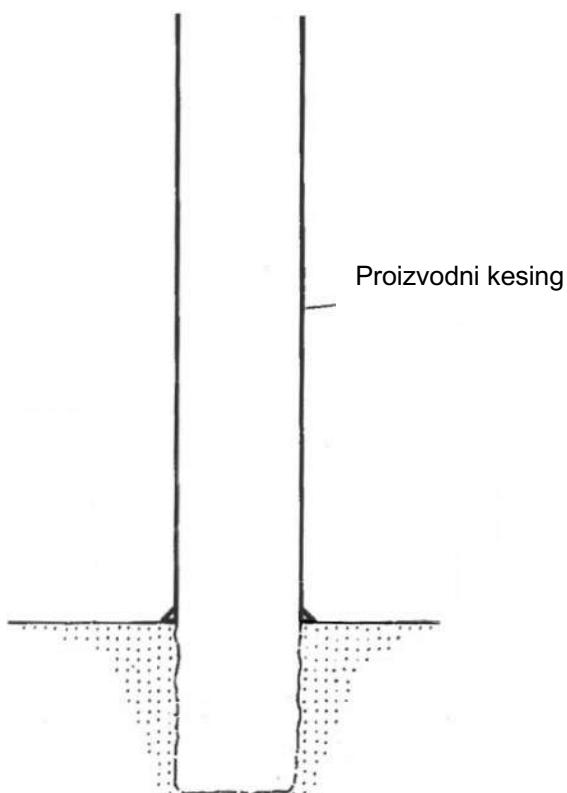
SLIKA 2/b

Tri osnovne metode:

1. Open hole opremanje (otvoreno dno)
2. Opremanje proizvodnim lajnerima
3. Opremanje zacevljnjem kanala bušotine eksplotacionom kolonom.

1., „Open hole“ opremanje (slika 1)

Eksplotaciona kolona se ugrađuje iznad proizvodnog intervala, interval ostaje potpuno otkriven.



Slika 1, „Open hole“ opremanje

Prednosti:

Stepen otvorenosti najveći;
Eliminisanje napucavanja kolone;
Omogućava produbljavanje bušotine;
Elektrokarotažna mjerena su pouzdana;
Mogućnost naknadne ugradnje „liner“ kolone.

Nedostaci:

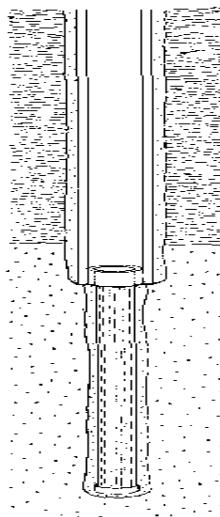
Može se izvesti samo kod kompaktnih stena (najčešće krečnjaci);
Teško se spričava proboj podinske vode ili gasa;
Nemogućnost selektivne obrade u cilju poboljšanja produktivnosti bušotine;
Moguća su česta čišćenja dna.

2 Opremanje proizvodnim lajnerima

lajner filterske konstrukcije
perforirani lajner
slotirani lajner (dvostruki)

2.1. Lajner filterske konstrukcije (slika 2)

Eksploraciona kolona se ugrađuje ispred produktivnog intervala, a lajnerom se oprema produktivni interval.



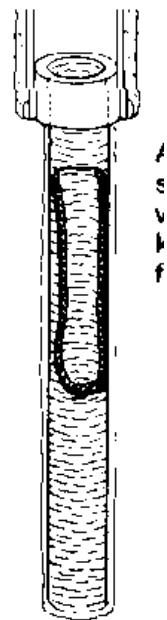
Slika 2-“Open hole” sa lajnerom

Prednosti:

Minimalna zagađenja;
Nema perforiranja;
Elektrokarotažna mjerena su pouzdana;
Nepotrebno čišćenje dna;
Moguća kontrola pijeska (prilagođavanjem);
Lako se kontroliše prodor podinske vode i gasa;
Može se vršiti selektivna stimulacija.
Ušteda u koloni.

Nedostaci:

Vrlo često nehermetičnost preklopa „liner“ kolone i prethodne kolone što iziskuje troškove naknadne cementacije;
Troškovi napucavanja i cementacije;
Ograničenje u prečniku buš. i produbljivanje je moguće uz primenu specijalnog alata, (prečnici linera: 5"(127mm), 5 1/2" (139mm), 7" (177.8mm));
Potrebno je dodatno angažovanje bušaćeg postrojenja za ugradnju.



Slika 3 –Gravel Pack lajner-Koristi šljunak kao filtrirajući element



Slika 4 –Cementirani lajner – koristi se da spriječi prodor pijeska u bušotinu

2.2. . Perforirani lajner

Eksploataciona kolona se ugrađuje i cementira iznad produktivnog intervala, produktivni interval se buši, ugrađuje se i cementira proizvodni lajner, a zatim se vrši njegovo perforiranje.

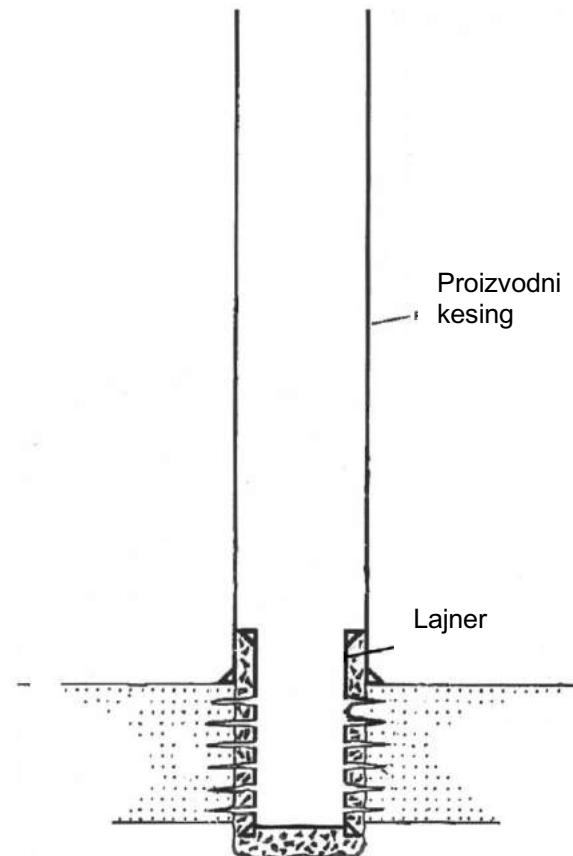
Prednosti:

- Minimalna oštećenja formacije;
- Lako se spričava i kontroliše proizvodnja vode i gasa;
- Moguća selektivna stimulacija;
- Nema čišćenja dna;
- Bušotina se lako produbljuje.

Nedostaci:

- Smanjuje se prečnik kanala bušotine u predelu produkt. intervala;
- Otežana interpretacija EK mjerena;
- Nehermetičnost preklopa;
- Dodatni troškovi perforiranja, cementacije i angažovanja bušačeg postrojenja.

Kod bušotina velikih dubina koristi se „dvostruki liner“ ako to dozvoljavaju ležišni, geološki uslovi.



Slika 5-Opremanje perforiranim lajnerom

3.Opremanje eksploracionom kolonom (slika 6)

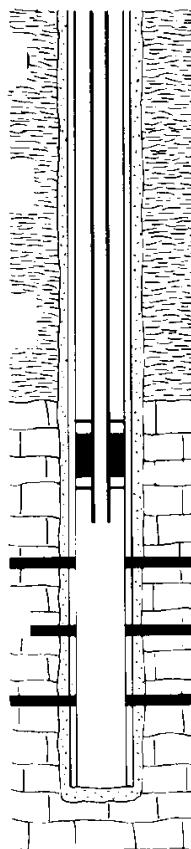
Eksploataciona kolona se cementira, a zatim selektivno perforira produktivni interval.

Prednosti:

- Laka kontrola proizvodnje vode ili gasa;
- Moguća selektivna stimulacija proizvodnih intervala;
- Nema smanjenja prečnika bušotine;
- Moguća kontrola pijeska;
- Bušotina se lako produbljuje;
- Prilagodljiva za sve konfiguracije višestrukog opremanja;
- Primarna cementacija je poboljšana (u odnosu na cementaciju lajnera).

Nedostaci:

- Značajni troškovi perforiranja;
- Otežana interpretacija EK mjerena;
- Veća mogućnost oštećenja produktivnog intervala.



Slika 6 Opremanje eksplotacionom kolonom

3.0 Konvencionalno opremanje bušotina

Odnosi se na bušotine kod kojih je prečnik eksplotacione kolone veći od 4 1/2".

Prema broju opremljenih intervala za proizvodnju, bušotine se dijele na:

1. jednostruko opremljene i
2. višestruko opremljene.

3.1. Jednostruko opremljene bušotine

Dijele se na:

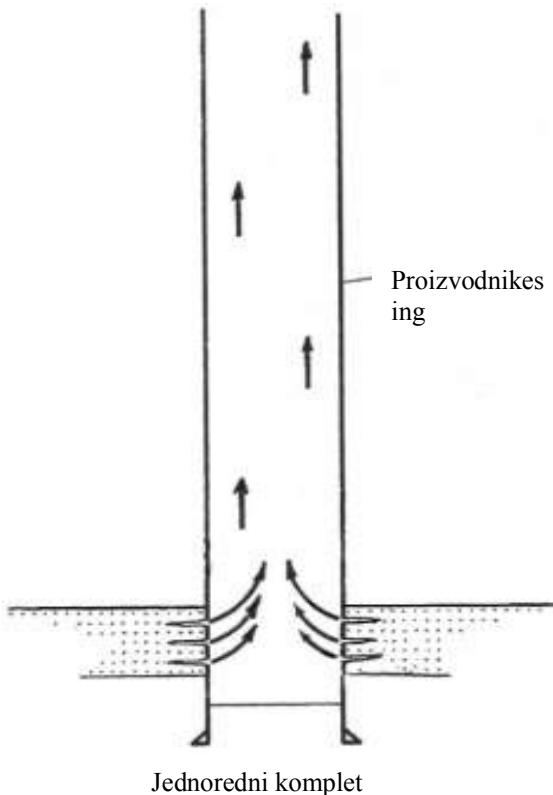
Eruptivna bušotina-protok kroz eksplotacionu kolonu

Eruptivna bušotina protok kroz tubing i kesing

Eruptivna bušotina protok kroz tubing

Eruptivna bušotina-protok kroz eksplotacionu kolonu

Primjenjuje se kod bušotine koje proizvode ekstremno velike količine fluida pri niskim i srednjim dinamičkim pritiscima (slika 7).



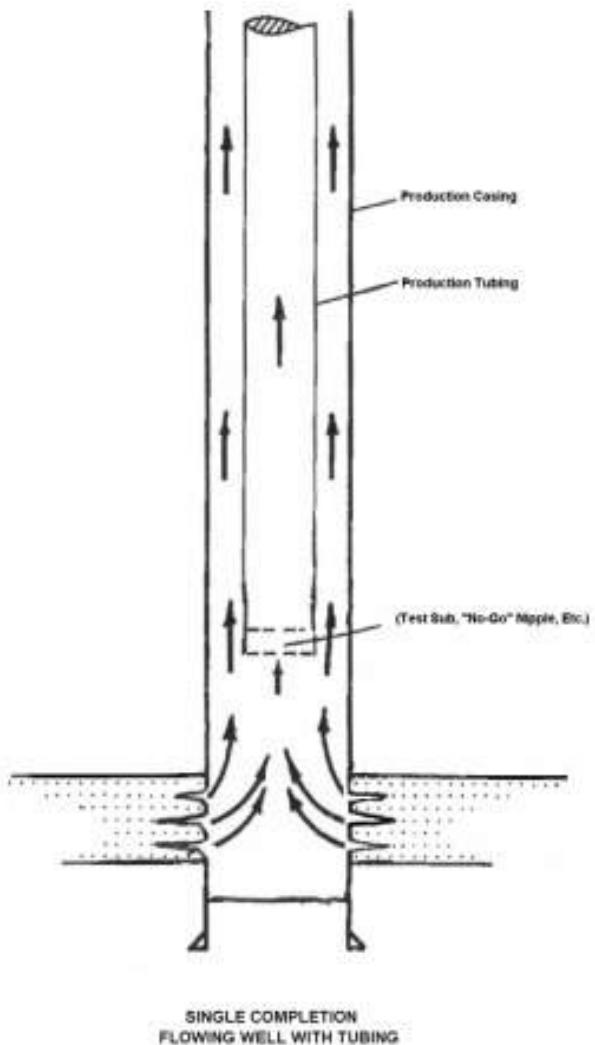
Jednoredni komplet

Slika 7 protok kroz eksplotacionu kolonu

Eruptivna bušotina protok kroz tubing i kesing

Opremanje je pogodno za velike proizvodnje.

Tubing se može koristiti za gušenje bušotine ili hemijske obrade, a „D“ sjedište omogućava ispitivanje hermetičnosti bušotine (slika 8).



Slika 8 protok kroz tubing i kesing

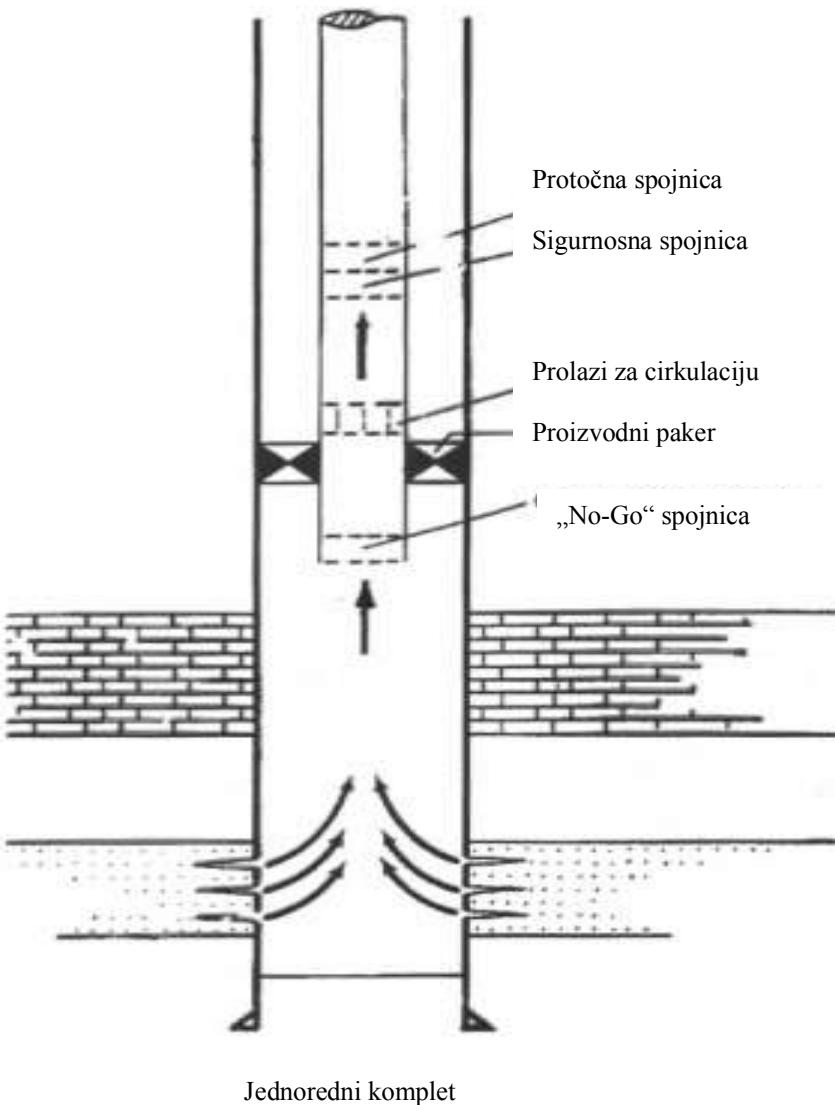
Eruptivna bušotina protok kroz tubing

Bušotina je opremljena zatvorenim sistemom (tubing i proizvodni paker-T+PP).

Maksimalni protok je smanjen.

Paker-tj. zatvoreni sistem koristi se u cilju zaštite eksploracione kolone, izolacije drugih intervala i kontrolu same bušotine

„D“ sjedište-služi za postavljanje dubinske dizne, sigurnosnog ventila ili blindiranog čepa(hermetičnost)



Slika 9- protok kroz tubing
 Sigurnosna spojница (SS) ugrađuje se za potrebe odvajanja tubinga radi zamjene ili instrumentacije pakera operacionim tubingom.
 Protočna spojница (PS)-služi za redukciju erozije uslijed turbulencije i abrazije, postavlja se iznad ili iznad i ispod SS.

3.1.1 Jednostruko alternativno opremanje bušotina

Alternativni interval je perforiran (prilikom inicijalnog opremanja), ali je izolovan između pakera.

Pušta se u proizvodnju otvaranjem CS i to po završetku proizvodnje iz donjeg intervala.

Ispod CS ugrađuje se ojačana spojница (OS).

Postoje i sledeće metode:

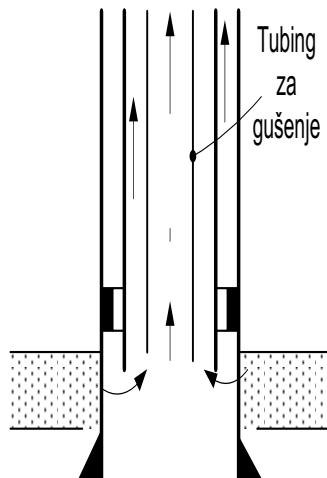
Jednostruko opremanje bušotina sa koncentričnim nizom tubinga za gušenje bušotine;

Jednostruko opremanje bušotina sa dva niza tubinga;

Jednostruko opremanje visokoproduktivnih bušotina sa niskim pwf.

Jednostruko opremanje sa koncentričnim nizom tubinga

U bušotinu se ugrađuje koncentrični tubing manjeg prečnika koji se, po potrebi, koristi za gušenje bušotine.



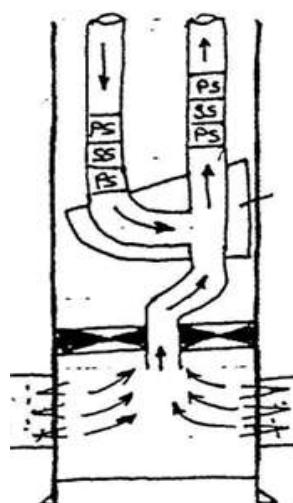
Slika 10- Jednostruko opremanje sa koncentričnim nizom tubinga

Jednostruko opremanje bušotina sa dva niza tubinga

Dva niza tubinga se odvojeno spuštaju a na dnu kanala bušotine se spajaju cirkulacionom glavom (Slika 11).

Ovakav postupak opremanja bušotina se koristi tamo gde se javlja taloženje sulfata, soli, kamenca.

Jedan niz je proizvodni a drugi služi za cirkulaciju hemikalija.

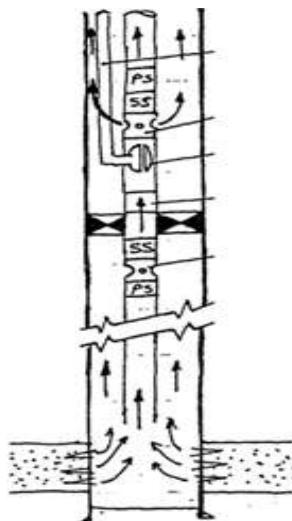


Slika 11- Jednostruko opremanje bušotina sa dva niza tubinga

Jednostruko opremanje visokoproduktivnih bušotina sa niskim dinamičkim pritiskom pwf.

Protok fluida se odvija kroz tubing i kesing nakon prolaska kroz donju perforiranu spojnicu, paker, sigurnosnu spojnicu (SS) i gornju perforiranu spojnicu (Slika 12).

Proizvodni paker i sigurnosni ventil se ugrađuju našto pliće u bušotini.



Slika 12 Jednostruko opremanje visokoproduktivnih bušotina sa niskim dinamičkim pritiskom pwf
3.2. Višestruko opremanje bušotina

Kad jedna bušotina nabuši više produktivnih intervala postoje 4 alternativna načina opremanja:
 istovremeno opremanje svih intervala (više intervala mogu proizvoditi kroz jedan niz tubinga pod uslovom da međusobno ne dovode do restrikcija).
 opremanje jednog intervala sa alternativama (proizvodnja se vrši samo iz jednog, počevši od najnižeg pa redom naviše).

Višestruko nekonvencionalno opremanje.

Višestruko konvencionalno opremanje:

Dvojno opremanje: jedan paker i jedan niz tubinga. Ovo je osnovni način dvojnog opremanja.

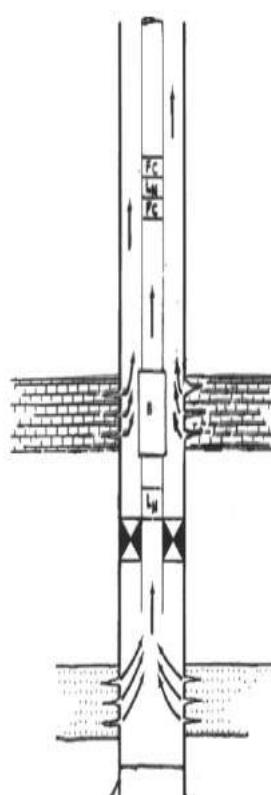
Proizvodnja iz donjeg intervala odvija se kroz tubing, dok gornji proizvodi kroz kesing.

Prednosti su: smanjeni troškovi,

Nedostaci: nakon prestanka erupcije vještačka metoda se može primeniti samo na donjem intervalu;

eksploataciona kolona je izložena pritisku i dejstvu agresivnih fluida;

potrebno je gušenje donjeg intervala pre bilo kojeg zahvata na gornjem.



Slika 13 Dvojno
 opremanje: jedan paker i
 jedan niz tubinga



Slika 14- Dvojno opremanje:dva pakera, unakrsni uređaj (dubinska dizna) i jedan niz tubinga

Paralelno dvojno opremanje:dva niza tubinga i dva niza pakera.

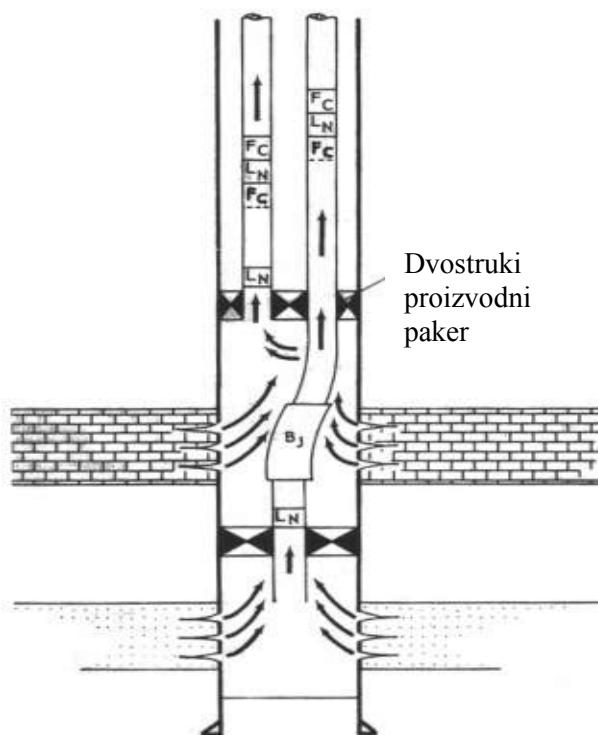
Na taj način se vrši odvojena proizvodnja iz svakog intervala.

Na jednom od intervala se selektivno može primjeniti vještačka metoda eksploracije.

Nedostatak:

visoko početno ulaganje i

radovi na vađenju ove opreme skupi i neizvjesni.



Slika 15- dva niza tubinga i dva niza pakera

Dvojno alternativno opremanje bušotina

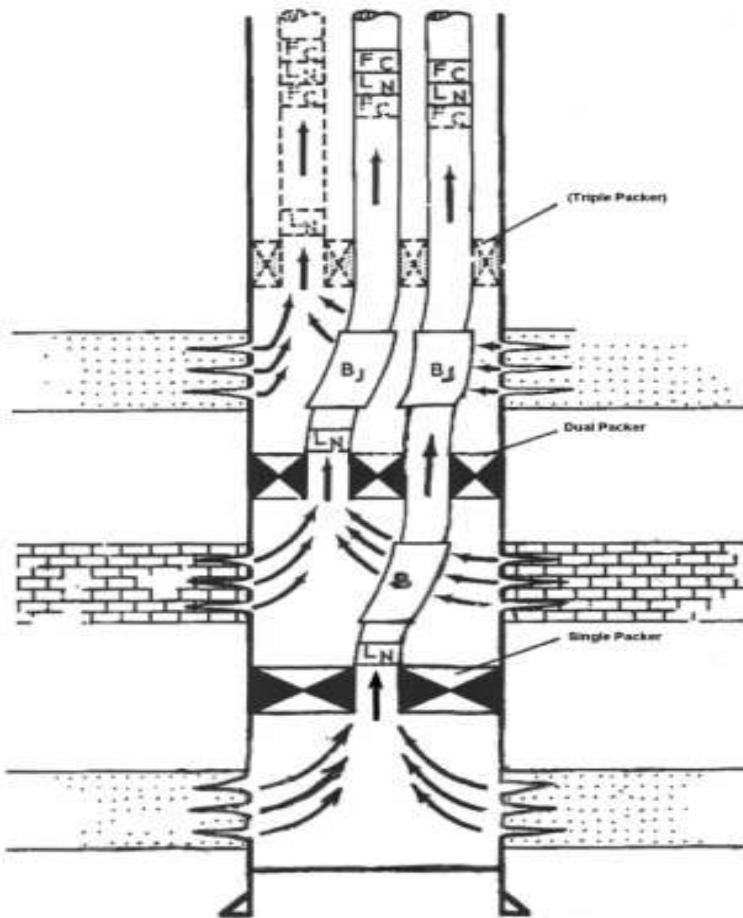
Ovo opremanje je izvedeno pomoću dva niza tubinga, dva jednostruka ili dva dupla proizvodna preventera tako da postoji alternativa za kraći ili duži niz opreme.

Trostruko opremanje-primjenom tri niza tubinga i pakera.

Ostvaruje se visoka dnevna proizvodnja po bušotini i ubrzava njena otplata.

Nedostatak:

oprema se teško ugrađuje i
vrlo je osjetljiva na probleme propuštanja.



Slika 16- Trostruko opremanje- primjenom tri niza tubinga i pakera

Faktori koji utiču na izbor optimalne varijante višestrukog konvencionalnog opremanja su:
potrebe za proizvodnjom većih količina fluida po bušotini;
brže otplaćivanje bušotina;
istovremeni i odvojeni protok različitih fluida pri različitim pritiscima i
procijenjene bilansne rezerve po bušotini.

4.0. Podzemna proizvodna oprema

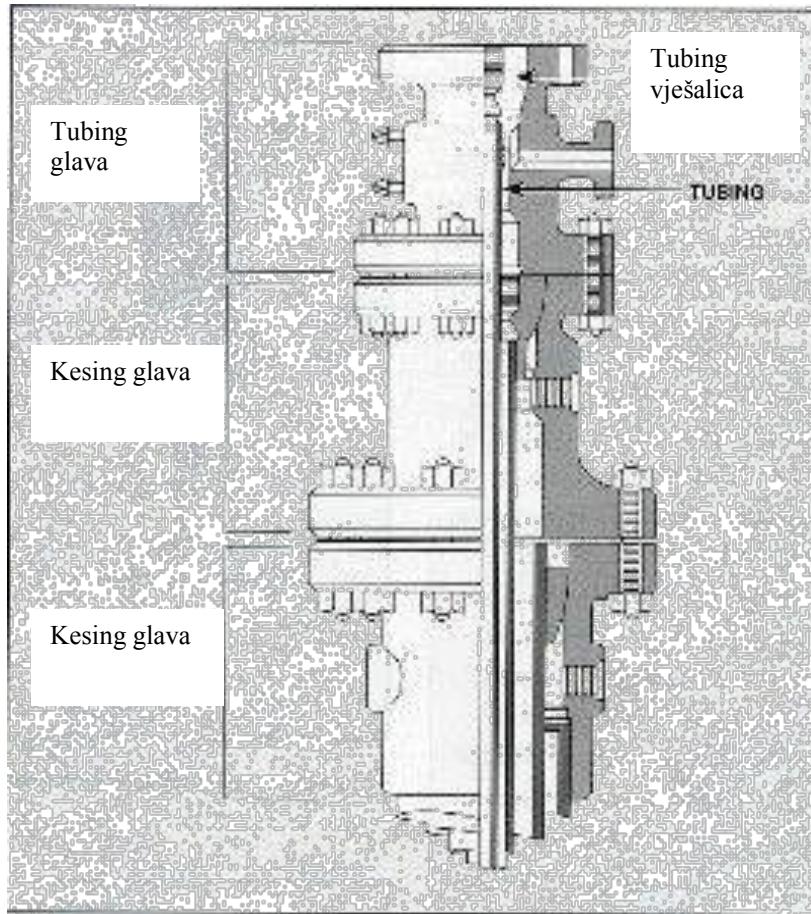
4.1 Tubing

Tubing-ugrađuje se pre osvajanja bušotine da bi omogućio cirkulaciju fluida. U toku eksploatacije kroz tubing se kreće naftno- gasna smješa. Tubing je obješen na opremu na ustima bušotine tj. tubing se vješa o nosač tubinga koji je dio bušotinske glave.

To su bešavne cijevi sa muškim navojem na kraju cijevi. Na kraju mogu biti sa zadebljanjem ili bez njih. Spajaju se pomoću kratke spojnica sa ženskim navojem. Pri izboru prečnika tubinga vodi se računa o očekivanoj proizvodnji i veličini međuprostora zbog izvođenja remontnih radova.

Dubina tubinga zavisi od uslova u bušotini

Ako neće doći do stvaranja pješčanih čepova i prihvatanja tubinga, dno tubinga se postavlja do gornjih otvora perforacije, inače se ugrađuje do dubine na kojoj neće doći do stvaranja pješčanih čepova. Prečnik tubinga se određuje pri slijedećim uslovima: da se obezbjedi predviđena optimalna proizvodnja bušotine u toku eruptivnog rada; da se omogući što duži period erupcije.



Slika 17-Glava tubinga
4.2.Paker

Paker-specijalno konstruisana oprema koja služi za hermetično odvajanje međuprostora između tubinga i eksploracione kolone.

Uloga:

zaštita eksploracione kolone;
izolacija više napucanih intervala;
izolacija konstatovanih oštećenja na koloni i
kod opremanja gas-lift sistemom u slučaju taloženja parafina.

Podjela pakera:

Prema nameni mogu biti:

proizvodni (izdržavaju samo slojni pritisak fluida koji nije toliko veliki i tokom dužeg perioda je trajan);
operacioni (za kiselinske obrade, cementacije pod pritiskom, hidrauličko frakturiranje, visoke pritiske..).

Prema načinu aktiviranja razlikuju se:

-hidraulični
-mehanički (kompresioni i tenzioni).

Prema starosti u bušotini:

Sa mogućnošću izvlačenja ili izvlačivi (proizvodni i operacioni-može da se deaktivira).

trajni ili permanentni (postavlja se kad treba trajno izolovati donji interval).

Cup Type Packer

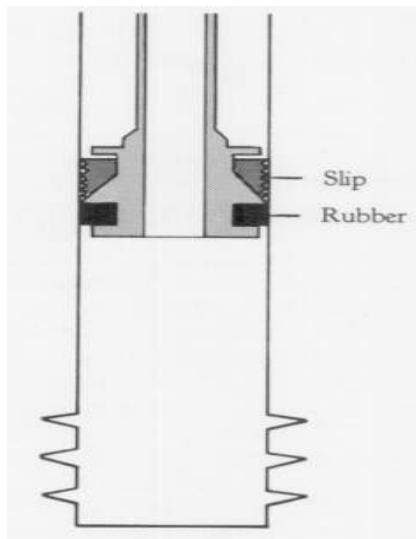
Prosta konstrukcija, nema sidreni uređaj samo kolona tubinga mu održava položaj.Koristi gumu kao zaptivni element.Razlika u pritiscima potiskuje manžetne i formira zaptivni spoj.Kada se postavi na mesto paker se može slobodno kretati gore-dole što diktiraju sile u tubingu i razlike u pritiscima.Ovaj tip pakera se koristi za plitke bušotine tj. na mjestima gde se očekuje mala razlika pritisaka.



Slika 18- Cup Type Packer

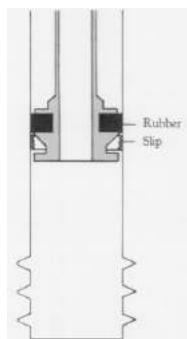
Tension Packer

Zaptivanje se ostvaruje između tubinga i kesinga, zateznom silom koja sabija gumeni prsten primoravajuću ga da nalegne na površine koje zaptiva.Ovi pakeri koriste zatezni mehanizam(kanali) i klizač da bi sabili gumeni prsten.Ovi pakeri se koriste na plitkim bušotinama i to za zaštitu od dotoka voda.



Slika 19 Tension Packer

The "Solid Head" Compression Packer Sličan tipu jedan ali se umesto zatezne koristi sila sabijanja.
Koristi se kao produkcioni paker u plitkim bušotinama.



Slika 20- "Solid Head" Compression Packer

4. 3. Spojnice

Cirkulaciona spojница

Cirkulaciona spojница“C“-postavlja se u bušotinu kao dio podzemne opreme i pri nekim remontnim operacijama kada se ne radi sa pakerima.Ugraduje se sa tubingom kao njegov integralni dio, a otvara se i

zatvara „sifting“ alatom (tj. alatom na žici).

U normalnim uslovima „C“ se otvara na gore. Koristi se pri gušenju bušotine, frakturiranju, kiselinskim obradama, itd.

Sigurnosna spojnica-Sigurnosna spojnica „A“-služi za lako odvajanje opreme koja se vadi od opreme koja ostaje u bušotini tj., za odvajanje operacionog tubinga u cilju zamjene ili instrumentacije pakera proizvodnim tubingom.

Protočna spojnica-

Protočna spojnica služi za redukciju erozije uslijed turbulencije i abrazije, postavlja se iznad ili iznad i ispod - „C“.

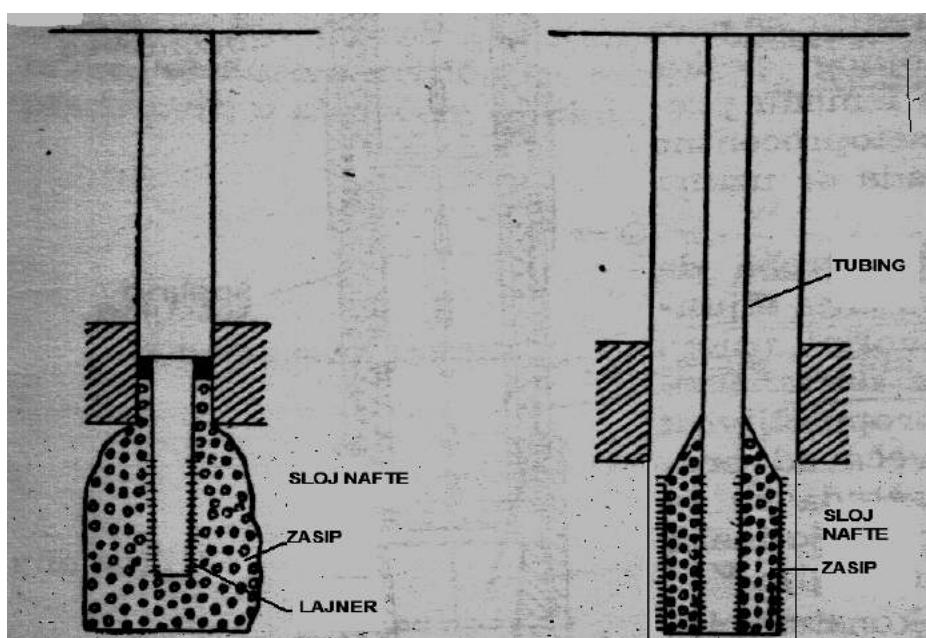
4. 4. Ventili

Sigurnosni ventil-radi na principu diferencijalnog pritiska i služi da osigura bušotinu od prevelike proizvodnje ili nekontrolisane erupcije u slučaju erupcije pri havariji erupcionog uređaja. Podešava se za različite diferencijalne pritiske promjenom prečnika dizne i snage opruge, mjenjanjem opruge i postavljanjem podmetača ispod nje. Ugrađuje se u niplu u kombinaciji sa bravom. Niple ili sjedišta su specijalno obrađene spojnice tubinga i služe kao sjedišta raznih vrsta brava. Protivpovratni ventil-Ugrađuje se u niple ili spojnice tubinga, sadrži kuglu. Dubinska dizna- Ugrađuje se u niple ili spojnice tubinga u kombinaciji sa bravom. To su fiksne dizne i služe za regulaciju protoka fluida naročito kod gasnih bušotina. Ima oblik čahure sa konusnim ulazom i izlazom. Za zamjenu mora da se vadi tubing. Brave-služe kao bravni ili brtveni elementi za postavljanje raznih vrsta opreme (ventili, dizne) u niple ili spojnice tubinga. Poznate su vrste brava „C“ i „H“.

Filtri na dnu bušotine

U bušotine se obično, zbog pijeska koji dolazi iz sloja, ugrađuju šljunčani filtri.

Na slici 21/a, na bušaćim šipkama se spušta gotova opremljena i pripremljena kolona – lajner, sa izrađenim otvorima na tijelu kolone, pozicionira se u odnosu na naftni sloj a zatim se međuprostor ispuni zasipom do odgovarajuće visine. Međuprostor se, po potrebi, može prethodno obraditi, proširiti anderrimerom (proširivačem). Na slici 21/b, u bušotinu se spušta cijelovit pripremljen šljunčani filter, prethodno spravljen na površini. Ako bušotinu u dijelu proizvodnog kanala predstavljaju trošni pijeskovci, tokom eksploatacije dolazi do stvaranja pješčanih čepova. Dno takvih bušotina može da se opremi pomoću šljunčanih filtera, tj. između sloja i perforiranog intervala kolone nalazi se sloj šljunka – pijeska, koji propušta samo sitne čestice pijeska i struu naftnog toka, dok krupne čestice zadržava.



SLIKA 21/a

SLIKA 21/b

3. KONSTRUKCIJA FILTRA

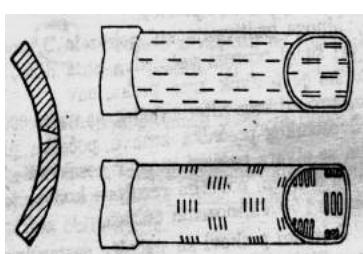
Odgovarajući filtri, potrebni za uspješnu proizvodnju nafte, mogu se izrađivati na površini, a potom se gotovi pripremljeni spuštaju u buštinu, ili se pak izgrađuju neposredno u buštoni, zasipanjem u kanal bušotine. Najjednostavniji filter je kolona sa okruglim otvorima, prečnika 15 – 20 mm, u šahovskom rasporedu, ravnomjerno od 25 – 1 200 otvora na dužni metar. Filtri treba da propuštaju fluid, ali da zadržavaju pjesak koji može oštetiti opremu ili stvarati pješčane čepove. Filtri sa okruglim otvorima primjenjuju se u uslovima kompaktnih kolektora, gdje nema pješčanih čepova, a količina pjeska je minimalna i ne izaziva ozbiljna oštećenja na podzemnoj i nadzemnoj opremi. Kod trošnih pješčanih kolektora uzimaju se filtri sa prorezima koji sa naftom propuštaju i nešto pjeska, dok glavnu masu pjeska zadržavaju. Pri tome, krupnija zrna iza filtra obrazuju neku vrstu dopunskog pješčanog filtra kroz koji prolaze sitne čestice uslijed velike brzine kretanja fluida.

Prema konstrukciji postoje dva tipa filtra:

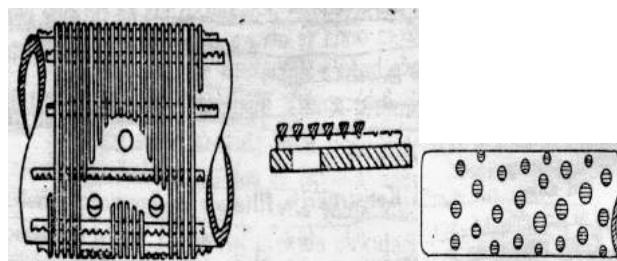
cijev – kolona sa prorezima u radijalnom i aksijalnom pravcu u odnosu na tijelo cijevi, i
cijev sa otvorima omotanim specijalnom žicom, ili su snabdjeveni čepovima sa sitom.

Prorezi su trapezoidnog oblika, a izrađeni su po površini tijela cijevi. Dužina proreza može biti 26 mm, 38 mm i 51 mm, a širina 0,75 – 3 mm.

Na slici 22/a, prikazani su filtri sa aksijalnim i radijalnim rasporedom proreza, a na slici 4/b, filtri omotani specijalnom žicom i čepovima sa mrežicama koje odradjuju ulogu filtra.



SLIKA 22/a – Filtri sa prorezima



SLIKA 22/b – Filtri sa žicom i čepovima

Ako je širina proreza veća 2 puta od zrna pjeska (prorez $> 2d$ zrna), onda će sav pjesak proći kroz filter sa strujom naftnog toka. Ako su prorezi manji od dvostrukog prečnika zrna (prorez $< 2d$ zrna), onda u početku prolazi manja količina pjeska, a zatim se ispred proreza stvara pješčani most i nakon toga pjesak više ne prolazi. Uslov je da se granulometrijska kriva sastoji od 50 % krupnih i 50 % sitnih frakcija. Otvori filtra biraju se prema najkrupnijim frakcijama, ako one iznose bar 10 % težine ukupne mase pjeska. Kod dobro is cementiranih pjeskovih, širina proreza može da se poveća. Isto važi i za viskozne nafte.

Kod razmatranja izbora filtra treba uzeti u obzir slojnu temperaturu, pritisak sloja na dnu bušotine i količinu gasa koji sa naftom ulazi u buštinu, odnosno u proizvodne instalacije.

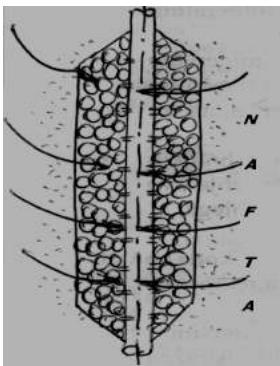
ŠLJUNČANI FILTRI

Konstrukcije šljunčanih filtera mogu se svesti na dva osnovna tipa:

filtri kod kojih se šljunak postavlja kada su u buštoni, i

filtri sa šljunkom postavljenim na površini. Filteri iz grupe (a) daju manje otpore pri ulazu nafte u kanal bušotine, međutim, njihova zamjena kada odrade svoj radni vijek je komplikovanija. Šljunak za filtere treba da bude okrugao, te da je otporan na mehaničke pritiske, kiseline i baze. U svijetu proizvodnje nafte najčuveniji je OTAVA šljunak. Odnos prečnika pjeska iz sloja i prečnika šljunka iz filtra treba da iznosi 1:12, ali ovaj odnos može da bude i 1:6 – 8. Debljina šljunčanog filtra treba da bude 5 puta veća od prečnika zrna šljunka u filtru.

Prema testovima i eksperimentima, propusnost filtra treba da je 30 puta veća od propusnosti kolektora. Na slici 5, prikazan je šljunčani filter pripremljen na površini.



SLIKA 234 – Shema djelovanja šljunčanog filtra izrađenog na površini

S obzirom na dužinu (moćnost) proizvodne formacije, filter treba da ima odgovarajuću dužinu, pa se on sastoji od nekoliko međusobno spojenih sekacija. Dužina svake sekcije iznosi od 2 000 – 5 000 mm.

Filtar se u kolonu spušta u nizu tubinga, a tada se na tubingu mora nalaziti i ugrađen paker, nešto iznad proizvodne formacije.

Dobre strane šljunčanih filtera su:

ulazi samo fini pijesak koga nafta svojim tokom lako iznosi napolje,
smanjena je mogućnost oštećenja nadzemnih i podzemnih instalacija,
u sloju ostaju krupne frakcije pijeska, a sitne iznosi struju toka nafte,
krupne frakcije pijeska sprječavaju rušenje pribušotinske zone, izgrađujući određene mostičave strukture,
šljunčani filtri omogućavaju proširenje – anderrimming dna bušotine kod slabijih, trošnih kolektora, što povećava
drenažu sloja i produktivnost bušotine.

1.0. NADZEMNA OPREMA KOD EKSPLOATACIJE ERUPCIJOM

OSNOVNE PPOSTAVKE

Opremanje usta bušotine je jedna d završnih operacija u procesu bušenja. Vrsta opreme na ustima bušotine zavisit će od metode eksploracije date bušotine, tj. da li je u pitanju eksploracija erupcijom, liftovanjem ili pumpanjem. Pri tome je važno da oprema na ustima bušotine omogućava zatvaranje i otvaranje bušotine kada je to potrebno, kontrolu pritiska, ispitivanje bušotine, osvajanje i gušenje bušotine. U bušotinu se ugrađuje kolona cijevi – tubing, kroz koji se vrši vertikalno kretanje fluida u proizvodne svrhe. Gornji kraj tubinga je ugrađen – obješen u opremi na ustima bušotine. Oprema na ustima erupcione bušotine postavlja se slijedećim redom:

Na eksploracionu kolonu postavlja se prirubnica sa flanšom. Prirubnica ima dva otvora, od kojih jedan služi za kontrolu pritiska u prstenastom prostoru, dok drugi služi za obrнутu cirkulaciju.

Na prirubnicu se postavlja glava tubinga, u kojoj se vješa tubing. Iznad glave tubinga postavlja se erupcioni uredaj sa ventilima (nekoliko njih), zatim dizna i manometar. Erupcioni uredaj i ostali dio opreme na ustima bušotine treba da odgovara slojnom pritisku koji se očekuje u bušotini, i da omogući obavljanje svih operacija koje slijede tokom osvajanja bušotine, kao i tokom njenog eksploracionog perioda.

Opremanje usta bušotine je jedna od završnih operacija u procesu bušenja. Izbor tipa opreme na ustima bušotine zavisi od metode eksploracije. Ona treba da obezbjedi

zatvaranje i otvaranje bušotine,

kontrolu pritiska,

osvajanje i gušenje bušotine

Nadzemnu opremu kod eksploracije erupcijom čine

erupcioni uredaj

bušotinske veze

separatori

1.1. Erupcioni uredaj (EU)

Dio opreme ušća bušotine, na koju se vješa kolona tubinga, omogućava stvaranje pritiska na dnu kao i mjerjenje pritiska u kesingu i na izlazu fluida iz bušotine. Kod izbora erupcione uredaje mora se strogo voditi računa o očekivanom slojnom pritisku u bušotini, zatim o količini pijeska iz sloja, kao i o karakteru erupcije.

On obezbjeduje direktnu i indirektnu cirkulaciju fluida u bušotini. Kod bušotine sa vodenim režimom proizvodnje pritisak na ustima bušotine nije visok, a bušotine imaju ustaljeni karakter erupcije, bez pulsiranja. Bušotine sa gasnim režimom daju velike pritiske na ustima bušotine, te neravnomernu erupciju sa karakterističnim pulsacijama.

Formacije predstavljene slabovezanim pijeskovima – kolektorima daju pojavu pijeska u izlaznoj struci tečnosti, što daje teže uslove rada sa ovim bušotinama. U zavisnosti od visine pritiska slojeva, industrija izrađuje odgovarajuće erupcione uredaje za slijedeće probne i radne pritiske:

TABELA 2 – Visina probnih i radnih pritisaka za koje se izrađuju erupcioni uređaji

PROBNI PRITISAK (bar)	RADNI PRITISAK (bar)
75	40
150	75
250	125
400	200
600	300

Erupcioni uređaji se međusobno razlikuju po slijedećem:
prema načinu spajanja dijelova uređaja (sa flanšama ili na navoj),
prema broju tubinga koji se ugrađuju u bušotinu (jedan ili dva niza),
prema obliku odvodnih cijevi (oblik krsta ili trojke),
 prolazni odvodni otvori mogu biti 2,5"; 3" i 4".

Erupcioni uređaj se sastoji iz tri dijela:

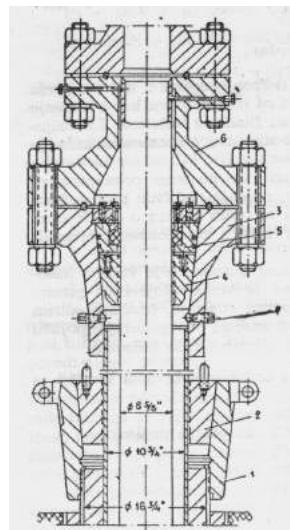
završne prirubnice,
glave tubinga i
erupcione jelke.

Pored osnovnih nadzemnih uređaja tu su još i ventili, manometri dizne

Završna prirubnica

Ima zadatak da poveže sve zaštitne kolone i da osigura njihovu dobru hermetičnost.

Najdonji dio završne prirubnice sa flanšom, navrće se na kolonu najvećeg prečnika. Slijedeća manja kolona se hvata sa klinastim ulošcima u prelaznom komadu (slika 1).



1. navrnuti prijelaz
2. klinasti uložak
3. završna prirubnica
4. klinovi
5. zaptivači
6. prelaz
7. čepovi

SLIKA 1 – Završna prirubnica za završni pritisak 600 bara

Tubing glava (slika 17 kod podzemne opreme –obavezno nacrtati)

To je srednji dio erupcionog uređaja.

U njenoj unutrašnjosti mogu se vješati jedan ili da tubinga (tubing i cijev za liftovanje).

Na bočne otvore se, prilikom osvajanja bušotine, utiskuje gas ili komprimirani vazduh.

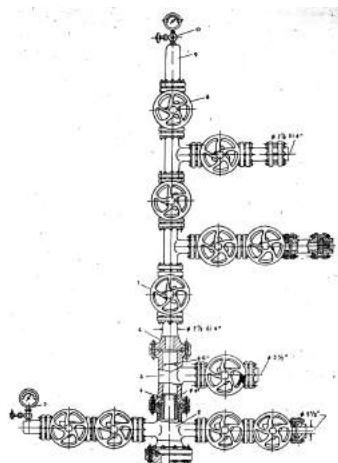
Erupciona jelka

To je najgornji dio erupcionog uređaja (slika 2).

Njen zadatak je slijedeći:

kontrola i regulacija erupcije bušotine,

da usmjeri izlaznu struju nafte u željenom pravcu potrošača,
da potpuno zatvori buštinu.



SLIKA 2 – Erpcioni uređaj sa flanšama i erpciona jelka u obliku trojke

Postoji manometar koji mjeri pritisak gasa (ili isplake) u međuprostoru, i on je obično na boku, i manometar na vrhu jelke, za mjerjenje pritiska na ustima bušotine ili pritiska na glavi tubinga.

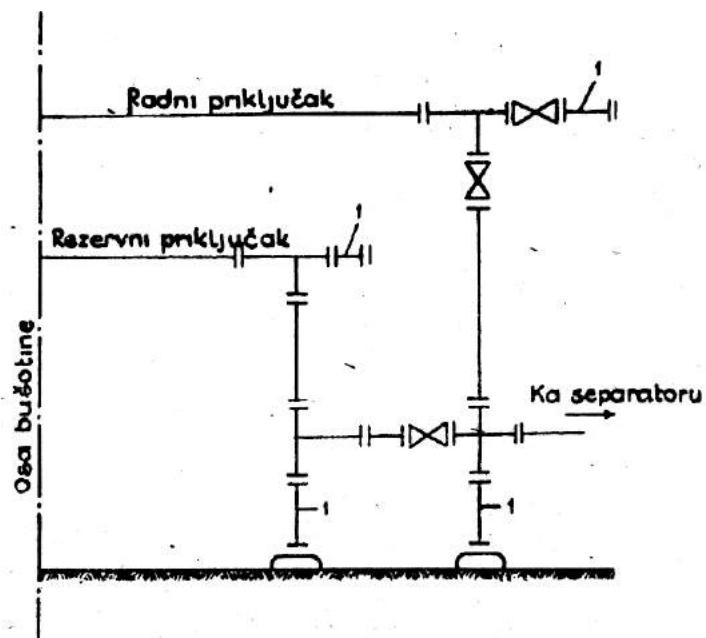
Nakon montaže erpcionog uređaja mora se ispitati odgovarajuća hermetičnost, na probni pritisak.

Bušotinske veze

Struja smjese nafte, gasa i pijeska odlazi preko bušotinskih veza u naftovod i dalje u separator.

To je takozvana radna veza, koja se sastoji od kratkih cijevi, "T" komada, krstova, slijepih flanši – blindi i ventila. Prečnik cijevi u radnoj vezi sličan je kao na erpcionom uređaju.

Pored ovih veza (slika 3), postoje i pomoćne operacije, kao što je usmjeravanje komprimiranog zraka i sl.



SLIKA 3 – Shema bušotinske veze za bušotine sa erpcionim uređajem u obliku trojke

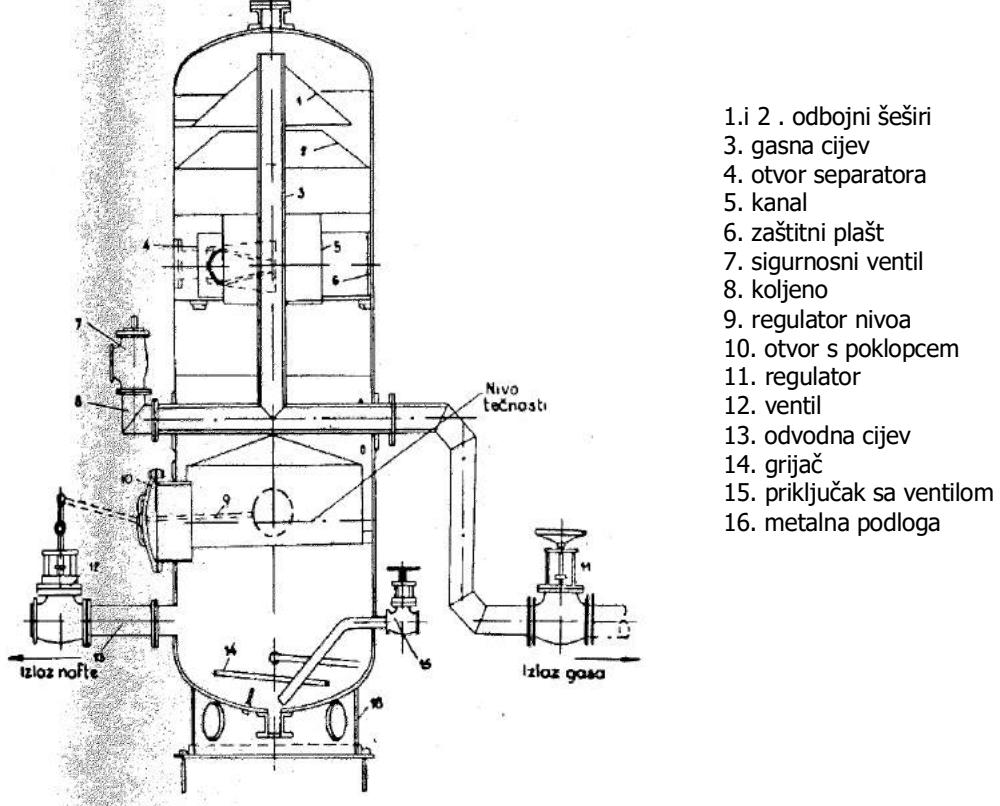
To su posude u kojim se odvaja nafta od gasa.

Prečnik separatora je mnogo puta veći od prečnika odvodne (dovodne) cijevi. Tu naglo pada brzina struje nafte, pritisak se izjednačava sa atmosferskim i nakon toga se odvaja gas (gore) od nafte (dole). Put toka nafte kroz separator može biti stepeničast ili zavojiti. Rad separatora može biti automatizovan (ovo se odnosi na pritisak i nivo tečnosti u unutrašnjosti). Radni pritisak separatora se kreće od 1 – 60 bara, a najčešće iznosi 2 – 16 bara.

Postoje separatori koji rade na principu vakuma, za pritisak od 0,2 – 0,7 bara.

Slika 4 prikazuje separator niskog pritiska.

Postoje separatori za višestepenu separaciju koji se sastoje iz dijelova za visoki, srednji i niski pritisak.



SLIKA 4 – Separator niskog pritiska (do 6 bara)

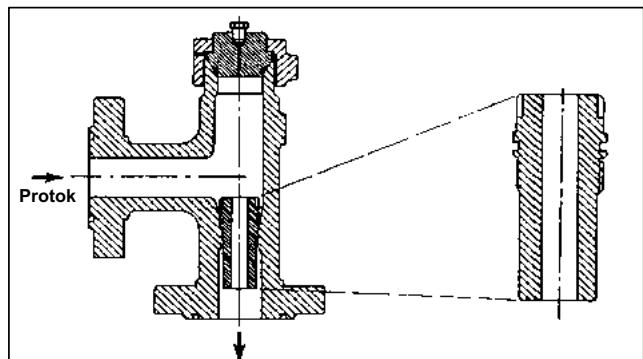
FUNKCIJA DIZNE I OSNOVNI PRINCIPI RADA

Osnovne funkcije dizne su:

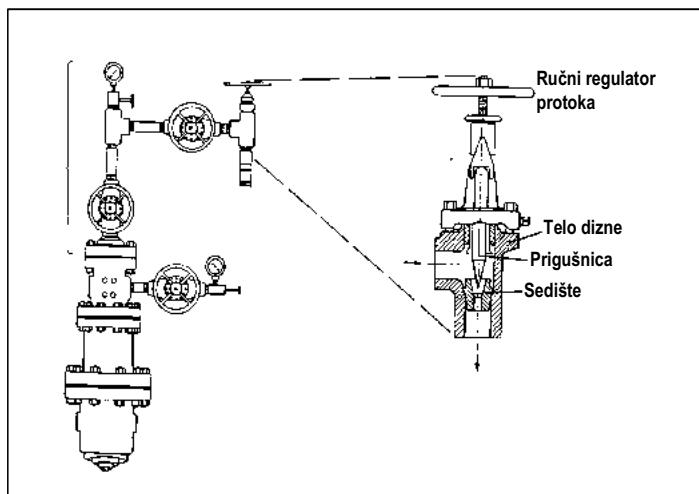
smanjenje pritiska na površini i povećanje sigurnosti rada,
održavanje konstantne prognozirane proizvodnje,
održavanje programirane depresije i sprečavanje iznoš. peska,
održavanje optimalnih uslova proizvodnje,
sprečavanje stvaranje konusa vode ili gasa i
regulacija i održavanje stabilnosti rada bušotina.

Prema konstrukcionim karakteristikama i načinu podešavanja
otvora dizne koriste se dva osnovna tipa:

sa promjenljivim podešavajućim otvoram (regulacione dizne)
sa konstantnim prečnikom otvora (fiksne dizne slika 1)

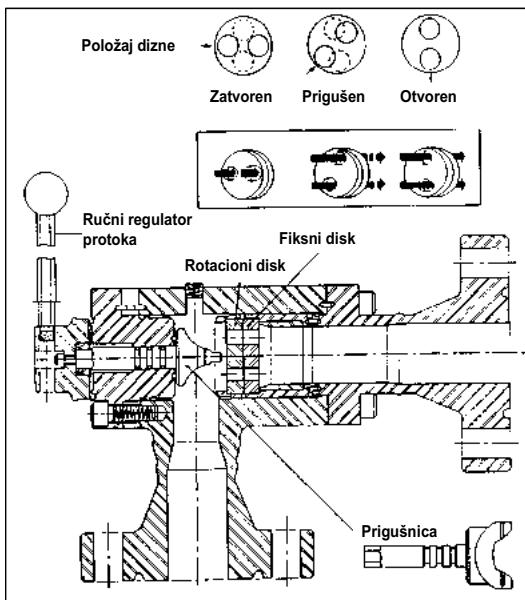


Slika 1- Fiksna dizna



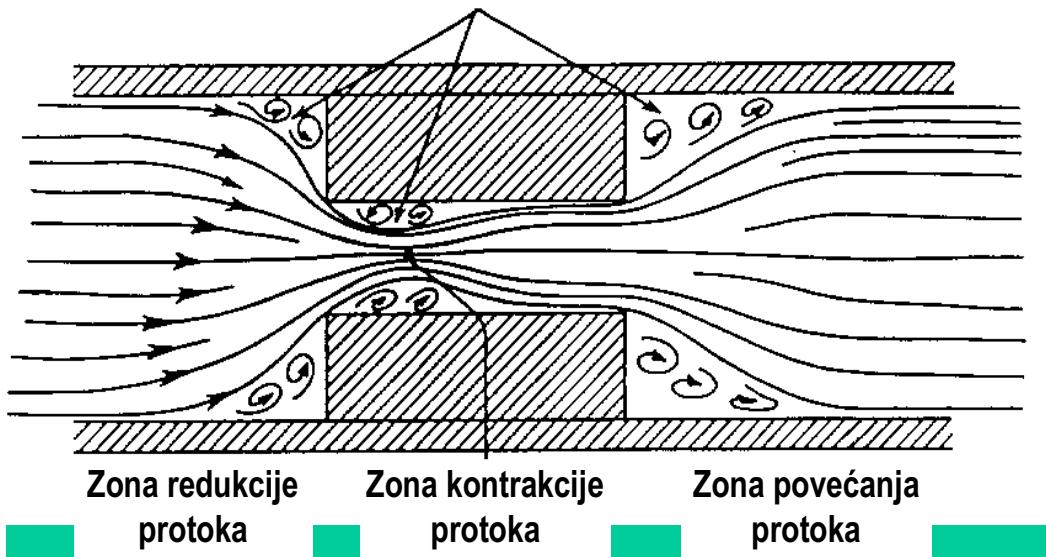
Slika 2- Regulaciona dizna sa igličastim ventilom

Dizna se pravi od čvrstog materijala koji je otporan na eroziju i na ulazu može biti blago zaobljena. Ukupna dužina dizne je obično 15-20 cm, ali može biti i svega 5 cm. Prečnici otvora su veličine od 1.5 mm do do 10 mm. Podešavajuća (regulaciona) dizna omogućava postepenu promjenu veličine otvora. Najčešći tip podešavajuće dizne je igličasti ventil, koji se kalibriše tako da reaguje na efektivni otvor. Drugi tip podešavajuće dizne je kružna regulaciona dizna(slika 3), prikazana na sljedećoj slici. Ova dizna se sastoji od dva kružna diska od čvrstog materijala, od kojih svaki ima po par prigušnica.



Slika 3- Kružna regulaciona dizna

Zone vrtloženja



Slika 4-Režim protoka u fiksnoj dizni

Ukupni nepovratni gubici energije strujanja posledica su:

Trenja kroz diznu i u dijelu oko nje,

Turbulencije u blizini ulaza i izlaza dizne,

Sporih vrtložnih strujanja između mlaza i zida cijevi u zoni kontrakcije mlaza i

Naglog širenja strujanja na izlazu iz dizne

Ukupni pad pritiska koji uključuje efekte kontrakcije mlaza i promjenu kinetičke energije strujanja jednak je:

$$\Delta P_t = f_{fch} \frac{\rho_L v_L^*}{2}$$

Koefficijent trenja pri protoku fluida kroz diznu zavisi od odnosa površina poprečnog preseka dizne i cevovoda i protoka. Određuje se eksperimentalno ili na osnovu praktičnih merenja na polju.
brzina tečnosti pri jednofaznom protoku usled efekta prigušenja

ISPITIVANJE ERUPTIVNIH BUŠOTINA (sa dubinskim manometrom)

Postoje dvije metode ispitivanja eruptivnih bušotina, i to:
pri ustaljenom režimu rada, i
po krivima porasta pritiska, kada je proizvodna bušotina zaustavljena

Kod ustaljenog režima rada vrši se ispitivanje pri raznim prečnicima dizni, u cilju određivanja proizvodnih karakteristika bušotine i optimalnog režima .

Ispitivanja po krivoj porasta pritiska vrše se zbog određivanja karakteristika sloja.

Kod ispitivanja tokom rada mjeri se (kod ustaljenog režima rada):

proizvodnja nafte,
proizvodnja pijeska,
proizvodnja gasa,
proizvodnja vode,
procenat zavodnjenoosti i
veličina gasnog faktora.

Pritisak na dnu mjeri se pomoću dubinskog manometra, na sredini otvorenog intervala a u izuzetnim slučajevima određuje se prema pritisku u međuprostoru. Ako se dubinski manometar zbog dubine ugrađenog tubinga ne može spustiti do sredine otvorenog intervala onda se pritisak na dnu izračunava po formuli

$$P_d = P_p + \frac{(H - L)}{10} \gamma_{sr}$$

gdje je: Pd-pritisak na dnu

Pp-pritisak u peti tubinga, izmјeren dubinskim manometrom

H-dubina bušotine

L-dubina ugrađivanja tubinga

γ_{sr} - srednja specifična težina smješe gase i tečnosti na dijelu od pete tubinga do sredine otvorenog intervala sloja

Kod ispitivanja bušotine mora se voditi računa o održavanju postavljenog režima rada ispitivanje bušotine i susjednih bušotina. Bitno je zbog održavanja stalnosti proizvodnje ispitivane bušotine. Usta bušotine moraju biti opremljena uređajima za spuštanje dubinskog manometra. Bušotina se mora ispitati najmanje na tri režima proizvodnje. Proizvodnju treba mjeriti svakog sata. Pored mjerjenja nafte, mjeri se i količina gasa, procent vode i procent pijeska. Manometar mora kod svakog mjerjenja biti spušten na istu dubinu. Izmjena režima bušotine se vrši promjenom otvora dizne pri čemu se mora voditi računa da ne dođe do naglih promjena proizvodnje. Proizvodnja ne bi trebalo da se razlikuje više od 20-30% od proizvodnje u prethodnom režimu. Ako dozvoljavaju eksploracione karakteristike bušotine onda pri ispitivanju treba odrediti tačke koje odgovaraju minimalnoj proizvodnji i momentu prestanka rada bušotine u cilju mjerjenja statičkog pritiska. Na osnovu podataka dobijenih ispitivanjem izrađuje se indikatorska kriva koja prikazuje zavisnost proizvodnje od smanjenja pritiska na dnu ispitivane bušotine. Ispitivanje eruptivnih bušotina bez dubinskog manometra. Pritisak na dnu bušotine može da se odredi na osnovu pritiska u međuprostoru, samo što će dobiveni podatak biti manji nego ako se pritisak mjeri dubinskim manometrom.

Metodika određivanja pritiska zavisi od slijedećih uslova:

pritisak na dnu je veći od pritiska zasićenja i veći je od hidrostatickog stuba nafte od usta bušotine, u peti tubinga nema slobodnog gase i bušotina ima mali gasni faktor; pritisak na dnu je manji od pritiska zasićenja u peti tubinga ima slobodnog gase i bušotina ima visok gasni faktor. U prvom slučaju međuprostor je ispunjen naftom dok se gasni jastuk stvara samo u gornjem djelu međuprostora. Pritisak u međuprostoru nije visok. Da bi se odredio pritisak u međuprostoru treba više puta ispuštati gas. Najpre se ispusti gasni jastuk do pojave nafte pa se bušotina ostavi da stoji 1 do 2 sata.

Poslije toga, operacija se više puta ponavlja dok iz međuprostora ne počne odmah da ide nafte pri otvaranju ventila. Tada se izmjeri pritisak u međuprostoru i pritisak na dnu se računa po formuli:

$$P_d = P_m + \frac{H\gamma}{10}$$

gde su: Pm — pritisak u međuprostoru na ustima bušotine;

γ — specifična težina nafte, koja se određuje po formuli

$$\gamma = \frac{\gamma_z + \gamma_p}{2}$$

gde su: γ_Z - specifična težina nafte pri uslovima na površini
(mjerena PVT analizom)

γ_p - specifična težina nafte pri uslovima na površini;

H- dubina bušotine do sredine otvorenog intervala.

Tačnost metode zavisi od tačnosti određivanja specifične težine nafte. Prema pritiscima na dnu i vrijednostima proizvodnje za date režime izrađuje se indikatorska kriva

U drugom slučaju kada na dnu bušotine ima slobodnih mjehurića gasa, međuprostor se postepeno ispunjava gasom i pritisak na ustima bušotine se razlikuje od pritiska na dnu za pritisak kolji vrši stub gase.

U takvim uslovima, pritisak na dnu, bez uzimanja u obzir kompresibilite gase, može da se odredi po formuli

$$P_d = P_m \cdot e^{\frac{0,3415 \cdot \gamma \cdot L}{T}}$$

Za T=273° tj. za 0° C formula će imati slijedeći oblik

$$P_d \approx P_m \cdot e^{1,2 \cdot 10^{-4} \gamma L}$$

gde su: γ — specifična težina gase u odnosu na vazduh;
L — dužina ugrađenog tubinga u m.

Kod određivanja pritiska na dnu prema pritisku u međuprostoru treba imati u vidu da se sakupljanje gase u međuprostoru vrši lagano i da treba usvojiti onu vrijednost pritiska u međuprostoru, koja će predstavljati nepromijenjenu vrijednost. Gore prikazane približne metode određivanja pritiska na dnu ne treba primjenjivati na pulsirajuće bušotine koje sa naftom daju i vodu. Takve bušotine treba ispitati samo dubinskim manometrom

ODRŽAVANJE ERUPTIVNIH BUŠOTINA

Ove poslove obavlja grupa stručnih radnika, na čelu sa iskusnim inženjerom. Zadatak u osnovi zahtijeva da se na bušotini održava normalna proizvodnja prema isplaniranom tehnološkom režimu rada. Evo koji su to poslovi:

uzeti i ugraditi odgovarajući prečnik dizne i preduzimati mjere u borbi sa taloženjem parafina i pojavama pjeska;

vršiti tačnu i brzu izmjenu dotrajale opreme na uređajima;

uspovestiti i održavati normalan režim rada bušotine, ukoliko je iz nekih razloga narušen.

Oštećena dizna (od pjeska) izaziva promjene u režimu rada bušotine, može da izazove obrušavanje pribušotinske zone u trošnim i nestabilnim kolektorima, kao i stvaranje pješčanih čepova između dna tubinga i otvora na koloni na mjestu sa kojeg se proizvodi nafta. Također, treba redovno kontrolisati stanje na manometrima pred diznom (1) i manometra (2) koji pokazuje stanje u međuprostoru.

Proizvodnja se kontinuirano mjeri i određuje se procenat vode i pjeska u nafti. Koji su razlozi za pripremu bušotine za remont? To su:

ako se narušeni režim rada bušotine ne može brzo uspostaviti,

ako se stvore pješčani ili parafinski čepovi na dnu bušotine (1), u međuprostoru (2) ili u tubingu (3).

METODE BORBE SA PARAFINOM

Parafini su ugljikovodici metanskog reda sa formulama od C16H34 do C64H130. Parafini obično predstavljaju smješu više vrsta parafina. Specifična težina parafina se kreće od 0,88 – 0,905, a tačka topljenja im je od 49 – 60 °C. Nafti može da bude otopljen ili u obliku kristala. Procenat parafina u nafti može da bude i preko 20 %. Nafte koje imaju preko 6 % parafina su visoko parafinske nafte. Parafin utiče u velikoj mjeri na viskozitet nafte. Vrlo lako se izdvaja iz nafte i lijepi se na zidove cijevi, te na taj način otežava prolaz nafti ili joj potpuno zatvara prolaz. Gas se pod pritiskom rastvara u nafti a smanjenjem pritiska izdvaja iz rastvora što dovodi do promjene fizičkih osobina nafte, kao što su specifična težina, viskozitet, sposobnost rastvaranja itd. Prema Henrijevom zakonu « količina gase rastvorenog u nafti proporcionalna je pritisku za jednu nepromijenjenu temperaturu » U cilju održanja "rastvaračke" sposobnosti naftu treba održavati pod pritiskom, kako bi se sprječilo izdvajanje gase iz rastvora. Smanjenjem pritiska do pritiska zasićenja, odnosno kritičnog pritiska, dolazi do izdvajanja gase iz nafte čime se smanjuje njena sposobnost rastvaranja i povećava viskozitet. U takvim uslovima parafin se izdvaja iz rastvora. Pri nekom konstantnom pritisku i smanjenju temperature iz emulzije se počinju stvarati kristali parafina, tj. počinju prelaziti iz tečne u čvrstu fazu.

Ova se temperatura naziva KRITIČNA TEMPERATURA. Kritična temperatura zavisi i od vrste nafte. Na stvaranje parafinskog taloga uticu i razne sporedne materije, kao i sredina kroz koju prolazi nafte. Te sporedne materije su: pjesak, čestice gline, voda i dr. Gas tokom svog kretanja ispira lake frakcije parafina i odnosi ih, čime preostali parafin postaje i teži za kontrolisanje. Spojevi, varovi i hrapave površine su mesta gdje se parafin najprije počne taložiti.

NEGATIVAN UTICAJ PARAFINA NA SMANJENJE ERUPTIVNE PROIZVODNJE NAFTE

Taloženjem na svakom mjestu u sistemu gdje se kreće nafta, parafin otežava ili potpuno onemogućava kretanja nafte – proizvodnju. On se taloži i u rezervoarima, gdje nafta skoro miruje. Taloži se i na prolaznim putevima i pornom prostoru samog sloja, čime dovodi do smanjenja propusnosti, pa i do smanjenja proizvodnje bušotine. Visok procent parafina čini naftu viskoznjom, povećava njeno unutrašnje trenje, pa je za njen transport potreban veći pad pritiska nego kod nafti sa malim viskozitetom. Ispitivanja većeg broj bušotina sa tubingom 2 1/2" pokazala su da se u njemu parafin najviše taloži do dubine od 500 m. Protočni presjek tubinga se vremenom smanjuje – ispočetka lagano, a kasnije intenzivnije, kao što se vidi u narednoj tabeli:

TABELA 1 – Smanjenje protočnog presjeka tubinga u zavisnosti od broja radnih dana

BUŠOTINA	SMANJENJE PROTOČNOG PRESJEKA (mm)						
	Broj radnih dana						
	5	6	7	8	9	10	11
1	50	40	30	25	22	18	12
2	52	45	40	32	27	20	15
3	48	43	38	30	23	17	14
4	49	42	35	32	23	19	16

Pojave koje prate intenzitet taloženja parafina u tubingu su:
postepeno smanjenje proizvodnje do potpunog prekida erupcije,
povećanje gasnog faktora – bušotina daje više gasa,
zaglava čistača parafina i mjernih instrumenata u tubingu.

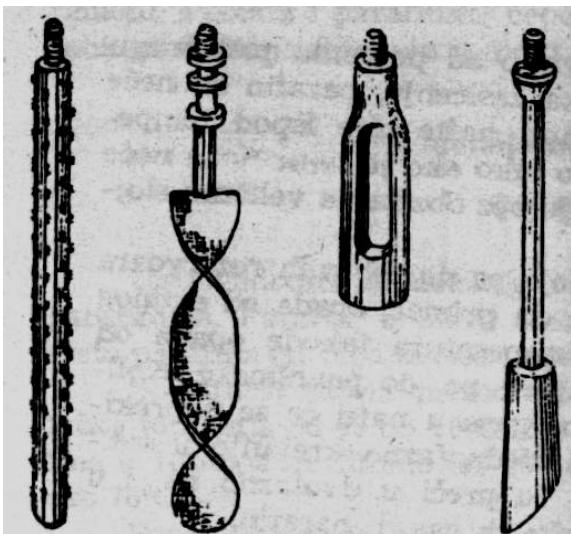
METODE DEPARAFINIZACIJE

Postoji više metoda. Koja će biti primijenjena zavisi od stečenog iskustva, trajanja i ekonomičnosti metode.

Metode se dijele na:
mehaničke,
toplote i
hemiske metode deparafinizacije.

Mehanička deparafinizacija

To je mehanička metoda koja koristi naprave – čistače u radu. To je jednostavna metoda, od samog početka proizvodnje nafte. Čistači se u bušotinu spuštaju na žici. Žica posjeduje čvrstoću na istezanje od 180 kg/mm². Spušta se na vitlu, sa ručnim ili mehaničkim motornim pogonom. U težim slučajevima koristi se i teška šipka, težine oko 20 kg.



SLIKA 1– Nekoliko vrsta čistača parafina

Na slici 1, prikazano je nekoliko vrsta čistača parafina. Skidanje parafina čistačem obavlja se prilikom kretanja na gore, a zatim ga zahvati struja smjese nafta – gas – voda – pjesak, i nosi van.

Toplotna deparafinizacija

U praksi i životu na naftnim poljima postoji više metoda topotne deparafinizacije. Kao izvor topote koriste se: topla voda, vodena para, električna struja i topota uslijed hemijske reakcije.

Zagrijana voda se upumpava u međuprostor bušotine ili utiskuje u sloj, gdje svojom topotom otapa parafin.

Slično se koristi i vodena para. Pokretni parni uredaj daje 1 t pare na sat, pri 325 oC, i pod pritiskom od 75 bara, a spreman je za isporuku pare za 10 minuta. Topota se može dobiti i pri hemijskoj reakciji, npr. reakcija 1 kg Mg i HCl daje 4662 kCal, a reakcija 1 kg NaOH i HCl daje 529 kCal.

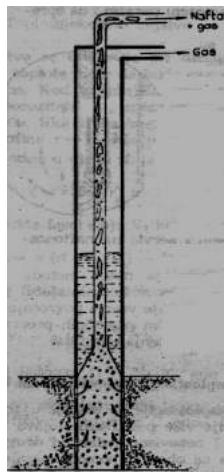
Hemijska deparafinizacija

U cilju efikasnog rada, na usta bušotine se postavlja specijalni dozator za dodavanje reagenata, koji je povezan sa međuprostorom. Hemikalija ulazi u tubing preko PP ventila koji je u nizu tubinga ispod dubine početka taloženja – izdvajanja parafina. Hemikalija mora biti neopasna u radu rukovaoca, i ne smije posjedovati korozivno dejstvo. Poznato je da se kao rastvarači parafina pojavljuju benzin, petrolej, dizel gorivo i laka nafta.

Pošto je deparafinizacija ozbiljna stvar koja odnosi vrijeme i novac, to se otkrivanje novih metoda borbe sa parafinom vrši neprekidno, i postojeće metode se usavršavaju.

PRODUŽENJE ERUPTIVNOG RADA BUŠOTINE

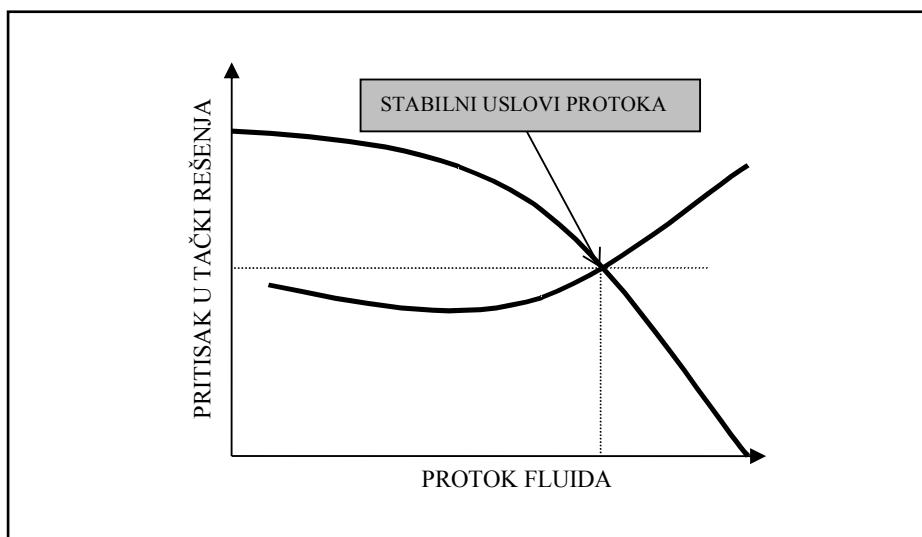
Eruptivna proizvodnja nafte, bez sumnje je najekonomičnija od svih postupaka proizvodnje nafte. Bušotina će eruptirati sve dok slojna energija bude dovoljna da iznosi smješu na površinu. Tokom vremena slojna energija će se smanjivati, i u jednom momentu će, za određeni prečnik, biti nedovoljna, kada će nastupiti prekid proizvodnje. Tu je presudan pravilan izbor tubinga. Prije nego prestane sa proizvodnjom, bušotina počinje da pulsira, odnosno da radi sa udarima. Pulsacije stvaraju velike udare na površinsku opremu na ustima bušotine, nagla pražnjenja bušotine, stvaranja povremenih velikih depresija, što pogoduje nadiranju pjeska u bušotinu. Da bi se izbjegle nabrojane neugodnosti na dnu niza tubinga postavlja se paker, dok drugi predlažu lijevak (slika 6).



SLIKA 6 – Producenje eruptivnog perioda bušotine upotrebom lijevka na dnu tubinga

SISTEM ANALIZA ERUPTIVNIH BUŠOTINA

Sistem analiza rada eruptivnih naftnih i gasnih bušotina praktično predstavlja nalaženje rešenja funkcije protoka fluida kroz proizvodni sistem pri kom se uspostavljaju uslovi stabilnog rada bušotine. U postupku optimizacije proizvodnje traži se korjen funkcije gradijenta (izvoda) da bi se dobole maksimalne ili minimalne vrijednosti funkcije cilja postupak sistem (nodal) analize obuhvata traženja rješenja funkcije tako da u tački rješenja (presjek karakterističnih krivih ulaska i izlaska fluida iz nodalne tačke) nema razlike pritiska. To rješenje, kao što se može vidjeti sa slike je stabilan protok fluida koji će bušotina dostići pri datim uslovima rada (Slika 5).



Slika 5 – Rješenje funkcije protoka postupkom sistem analize

U slučaju eruptivnih naftnih i gasnih bušotina sistem analiza se najčešće koristi za izbor odgovarajućeg načina opremanja dna bušotine i prečnika tubinga. Sistem analiza eruptivnih bušotina, kao i svih ostalih bušotina, je traženje ekstremene vrijednosti funkcije cilja, pri čemu se vrijednosti jednog parametra mijenjaju, a svi ostali parametri zadržavaju konstantne vrijednosti.

Ako je funkcija cilja npr. maksimalni protok pri stabilizovanim uslovima rada bušotine, tada se izabrani parametar osjetljivosti (npr. prečnik tubinga) mijenja u onom opsegu koji će obezbjediti određivanje maksimuma funkcije cilja. Kada se utvrdi maksimalna vrijednost funkcije, onda se traži optimalna vrijednost izabranog parametra osjetljivosti. Kada je potrebno izvršiti optimizaciju funkcije sa jednom promjenljivom, tada se rezultati proračuna prikazuju kao zavisnost izabrane promjenljive (parametra osjetljivosti) i kriterijuma funkcije cilja. Za takvu vrstu analize dovoljne su dvije karakteristične krive.

Složeniji problem se javlja kada je potrebno optimizirati funkciju cilja sa više promjenljivih, posebno ako se promjenjive ne mogu međusobno povezati.

Kada se vrši sistem analiza rada eruptivnih bušotina metode optimizacije funkcije jedne promjenljive za

parametre osjetljivosti uglavnom se biraju:

ležišni pritisak (pad ležišnog pritiska je od posebnog značaja za planiranje dužine eruptivnog rada bušotine), sadržaj vode i kondenzata (trajanje eruptivnog rada naftnih bušotina je najčešće povezano sa promjenom sadržaja vode tokom životnog vijeka bušotine, a za gasne bušotine je od podjednakog značaja i sadržaj tečnog kondenzata),

faktor zagađenja (skin) pribušotinske zone (efekti izvođenja stimulativnih metoda direktno se mogu predvidjeti ukoliko je poznata vrijednost skin faktora),

broj, prečnik i dužina perforacija (analiziraju se uticaj i efekti različitih geometrijskih parametara perforacija za slučajeve bušotine bez i sa ugrađenim gravel-packom),

prečnik tubinga (analizira se uticaj gubitka energije u vertikalnom stubu pri različitim protocima),

prečnik dizne (promjena prečnika dizne je od posebnog značaja za regulaciju rada bušotine),

prečnik naftovoda i pritisak separacije.

Tačka rešenja može da bude na dnu ili površini, što zavisi od toga koji parametar je izabran, ali je najbolje da tačka rješenja prvo bude izabrana na dnu, a nakon toga na površini

Zajednički rad sloja i lifta

Pritok tečnosti u bušotinu može se predstaviti slijedećim jednačinama

$$Q = K (P_{sl} - P_d) \text{ ili } Q = f (P_d)$$

Može se pretpostaviti da je data zavisnost između proizvodnje Q i pritiska na dnu indikatorskom krivom (sl.

1) Kapacitet tubinga zavisi od dužine i prečnika tubinga, od pritiska u peti, od specifične težine i viskoziteta tečnosti i od zapremine utiskivanog radnog tijela.

U procesu liftovanja, sve navedene veličine, isključujući zapreminu radnog tijela i pritiska u peti, ostaju nepromijenjene. U ovom slučaju, opšti oblik jednačine za kapacitet tubinga će biti:

$$Q_t = f (R_o, P_p)$$

gde su: R_o — zapremina utisnutog radnog tijela;

$$P_p — \text{pritisak u peti tubinga.}$$

Ako se prati rad sloja i tubinga od početka osvajanja bušotine, tj. od momenta kada je pritisak na dnu jednak slojnom pritisku, vidjeće se da se, u trenutku puštanja bušotine u rad, količina radnog tijela ne mijenja i da kapacitet tubinga zavisi samo od pritiska u peti.

Jednačina se može napisati u slijedećem, obliku:

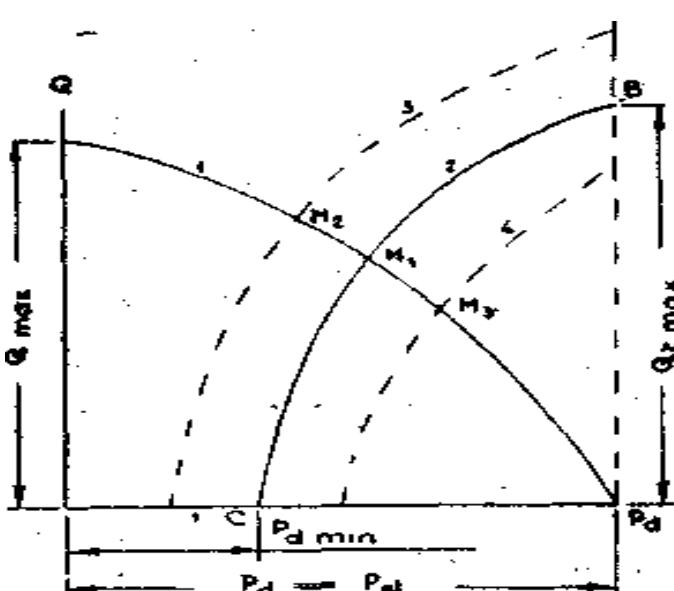
$$Q_t = f' (P_p)$$

Pošto je $P_p = f_1 (P_d)$ onda je

$$Q_t = f' [f_1 (P_d)] = f_2 (P_d)$$

Zavisnost će se prikazati grafički na indikatorskom dijagramu.

Najveća vrijednost pritiska u peti će biti pri najvišem nivou tečnosti u bušotini, kada je $P_d = P_{sl}$. Tubing će tada imati maksimalni kapacitet (Q_{tmax}).



Slika 1

Ako se na indikatorskom dijagramu, nanese ta vrijednost u istoj razmjeri kao i za prtok tečnosti u bušotinu onda se dobija tačka B (sl. 1). U prvom momentu rada bušotine, kada je prtok nafte iz sloja ravan nuli, kapacitet tubinga će biti najveći. Sa smanjenjem količine nafte u bušotini smanjuje se i pritisak na dnu kao i pritisak u peti tubinga; isto tako će se smanjivati i kapacitet tubinga.

Pri nekom pritisku na dnu kapacitet tubinga će biti nula tj. prestaje izlazak tečnosti iz bušotine.

Pritisak pri kome će se ovo desiti biće minimalni pritisak na dnu.

Uzeće se da je to tačka C.

Spajanjem tačke B sa tačkom C pomoću krive 2 dobija se kriva kapaciteta (produktivnosti) tubinga.

Kao što se na slici vidi, u periodu neustaljenog kretanja mogu da se izdvoje dva slučaja:

- a. iz sloja pritiče manje nafte nego što dolazi na površinu; u tome slučaju pritisak na dnu se smanjuje;
- b. iz sloja pritiče više nafte nego što se dobija na površini; u tome slučaju pritisak na dnu raste.

Kada je kapacitet (odavanje) tubinga jednak pritoku iz sloja, onda će pritisak na dnu biti konstantan, a režim rada bušotine ustaljen. Posmatranjem krive 1 i 2 vidi se da će taj režim biti u tački M1. Ako se pritisak na dnu snizi onda će prtok iz sloja biti veći od produktivnosti tubinga. Tada će nastupiti period neustaljenog režima rada za koje će vrijeme pritisak na dnu da se povećava dok se ponovo ne ustali u tački M1. Kao rezultat rada sloja i tubinga, pri nepromjenjenom pritisku na dnu dolazi do ustaljenog režima. Takva pojava nastupa kod određene nepromjenjene potrošnje radnog tijela.

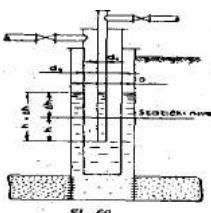
Ako se povećava ili smanjuje količina radnog tijela onda će se saglasno i produktivnost tubinga povećavati ili smanjivati. Kriva 3 odgovara produktivnosti tubinga za povećanu količinu radnog tijela a kriva 4 za smanjenu količinu radnog tijela.

Kod smanjenja količine radnog tijela doći će do narušavanja režima rada, tubing će davati veće ili manje količine tečnosti, a u zavisnosti od pritoka tečnosti iz sloja. Period neustaljenog režima će trajati dotle dok se pri zajedničkom radu sloja i tubinga ne uspostavi ustaljeni režim za neki novi pritisak na dnu. Za krivu 3 to će biti tačka M2 a za krivu 4 tačka M3. Indikatorska kriva 1 će za sve vrijeme ostati nepromjenjena. Iz iznijetog se vidi da se sa promjenom količine radnog tijela može regulisati pritisak na dnu, odnosno da se mijenja tehnološki režim rada bušotine

Početak liftovanja

Šema lifta sa dva koncentrična niza cijevi prikazana je na 2.

Prije utiskivanja radnog tijela nivo tečnosti je bio jednak u svim cijevima. .



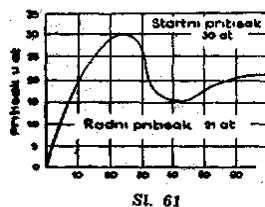
Ako se u prstenasti prostor (prostor između liftcijevi i tubinga) utiskuje radno tijelo, onda će doći do podizanja nivoa u tubingu i međuprostoru.

Kada pritisak na dnu bude veći od slojnog pritiska doći će do ulaska tečnosti u sloj. Količina tečnosti koju će primiti sloj zavisiće od vremena njenog potiskivanja i od koeficijenta produktivnosti bušotine. Podizanje tečnosti u tubingu i međuprostoru vršiće se dotle dok se sva tečnost iz prstenastog prostora ne potisne do pete tubinga. Poslije toga radno tijelo će ulaziti u tubing i podiziti stub tečnosti u njemu. Kada nivo tečnosti dostigne izlazni otvor nastupa vještačka erupecija bušotine. Maksimalni pritisak u momentu izbacivanja tečnosti iz bušotine naziva se startnim pritiskom. Poslije toga, pritisak u peti tubinga se smanjuje i ustaljuje se na pritisku manjem od slojnog pritiska. Usljed međusobnog rada sloja i tubinga dolazi do određenog ustaljenog nivoa tečnosti u međuprostoru. Visina nivoa (dinamičkog nivoa) će zavisiti od količine tečnosti koja se istiskuje iz bušotine. U zavisnosti od dinamičkog nivoa ustaliće se pritisak u peti tubinga. Pritisak sa kojim se utiskuje radno tijelo pri ustaljenom radu tubinga, naziva se radnim pritiskom. Na osnovu praktičnih ispitivanja izgrađen je tipični dijagram promjene pritiska radnog tijela u zavisnosti od vremena pri puštanju bušotine u proizvodnju (sl. 3)

Određivanje startnog pritiska

Pretpostaviće se najgori slučaj za početak liftovanja, a to je da u meduprostoru vlada atmosferski pritisak i da je primanje (gutanje) tečnosti od strane sloja veoma malo.

Unutrašnji prečnik tubinga označiće se sa d_1 (sl. 2), prečnik liftkolone sa d_2 i prečnik eksploatacione kolone sa D .



Sl. 61

Kraj potopljenog dijela tubinga označiće se sa h'U početku liftovanja, radno tijelo će potiskivati tečnost iz liftkolone i tečnost će početi da se podiže u tubingu i međuprostoru. Kada se tečnost u liftkoloni spusti do pете tubinga stub tečnosti u tubingu i međuprostoru će se podići na izvjesnu visinu. Stalni pritisak treba da uravnoteži stub tečnosti $h' + \Delta h$. Startni pritisak kod jednorednog lifta proračunava se po formuli

$$P_{star} = \frac{h' \cdot \gamma}{10} \cdot \frac{D^2}{d^2}$$

Gdje je γ -relativna specifična težina tečnosti

D-prečnik eksploracione kolone

d-prečnik tubinga

h' -potapanje pod statičkim nivoom

Pri centralnom sistemu liftovanja startni pritisak će biti

$$P_{star} = \frac{h' \cdot \gamma}{10} \cdot \frac{D^2}{D^2 - d^2}$$

Kod jednorednog lifta, uslijed vellike zapremine međuprostora dolazi do znatnog povećanja nivoa u tubingu i pri malom sniženju nivoa u međuprostoru. Često dolazi do prelivanja tečnosti iz bušotine i ako se nije završilo sruštanje nivoa u međuprostoru. Pri izvođenju formule za jednoredni lift pretpostavljeno je da sva istisnuta tečnost iz međuprostora odlazi u tubing. U slučaju prelivanja tečnosti takva pretpostavka ne može da postoji i prikazana formula se ne može primjeniti.

Ako radno tijelo istisne svu tečnost do pete tubinga startni pritisak će biti jednak pritisku stuba tečnosti u tubingu tj.

$$P_{star\ max} = \frac{L \cdot \gamma}{10}$$

gdje je L— dužina tubinga

Startni pritisak ne može da bude veći od pritiska dobijenog gornjom formulom. Kod vrlo dobre propustljivosti sloja i pri laganom puštanju bušotine u rad može sva tečnost iz međuprostora da se utisne u sloj tako da se pri dostizanju pете tubinga sa komprimiranim radnim tijelom, nivo u tubingu ne poveća. Startni pritisak u tome slučaju će biti određen dubinom potapanja tubinga pod statičkim nivoom:

$$P_{star\ min} = \frac{h' \cdot \gamma}{10}$$

Ispod te vrijednosti startni pritisak se ne može smanjivati.

Iz iznijetih razmatranja može da se dode do zaključka da se startni pritisak pri svim sistemima lifta kreće u granicama

$$\frac{L \cdot \gamma}{10} \text{ i } \frac{h' \cdot \gamma}{10}$$

Metode sniženja startnih pritisaka

Sve metode sniženja startnih pritisaka se baziraju na udaljenju izvjesne količine tečnosti iz lifta u početku liftovanja.

Metod utiskivanja tečnosti u sloj se sastoji u tome što se u prstenasti prostor utiskuje radno tijelo do maksimalnog pritiska kompresora. Poslije toga zatvara se ventil na priključnoj cijevi i bušotina se ostavlja izvjesno vrijeme pod pritiskom.

Ukoliko je veći pritisak stuba tečnosti od slojnog pritiska doći će do ulaska tečnosti u sloj. Nivo tečnosti u bušotini će da se snizuje što daje mogućnost da se pri ponovnom puštanju radnog tijela istisne preostali stub tečnosti i bušotina pusti u proizvodnju. Ovaj je metod podesan za bušotine koje imaju visok koeficijent produktivnosti. Metod klipovanja se sastoji u tome što se klipovanjem smanjuje stub tečnosti do nivoa pri kome je moguće da se istisne preostali stub tečnosti.

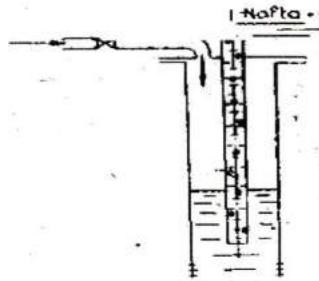
U izvjesnim slučajevima, u početku se utiskuje u bušotinu gas i kada njegov pritisak dode do predvidenog, zatvara se ventil na priključnoj cijevi za gas i pristupa se klipovanju. Metod postepenog sruštanja tubinga. Tubing se najprije srušta do dubine na kojoj pritisak stuba tečnosti ne prelazi maksimalni pritisak kompresora.

Poslije istiskivanja zahvaćenog stuba tečnosti, odnosno, poslije sniženja nivoa tečnosti, povećava se dubina ugrađivanja tubinga i vrši se istiskivanje novozahvaćenog stuba tečnosti. Povaćanje dubine ugrađivanja tubinga obično se kreće oko 40 m. Ovaj se metod preporučuje za bušotine sa malim koeficijentom produktivnosti. Metod promene sistema liftovanja se sastoji u tome što se početak liftovanja vrši po centralnom sistemu pa se poslije toga prelazi na liftovanje po prstenastom jednorednom sistemu. Ovaj metod je dao dobre rezultate za dužinu tubinga do 1 000 m. Za veće dubine se ne primjenjuje zbog velike specifične težine smješe. Opisani metodi sniženja startnih pritisaka dimaju nedostatak što stvaraju oštru depresiju na dnu, koja može da se kreće od 30 do 43 at. Radi ravnomjernijeg početka liftovanja vrši se

sniženje startnog pritiska pomoću otvora na tubingu. Gas iz međuprostora ulazi kroz otvore u tubing pri čemu vrši djelimično istiskivanje tečnosti na površinu. Ovakvim postupkom se snizuje pritisak u tulbingu što daje mogućnosti za potiskivanje nivoa tečnosti u međuprostoru do pete tublina. Za dalju eksploataciju liftovanjem otvori nisu potrebni, a ne mogu da se zatvore i dovode do povećanja potrošnje radnog tijela i preko 10 %. Radi smanjenja nedostataka kod primjene otvora, na tubingu (u međuprostoru) postavlja se više ventila za liftovanje. Pod pritiskom radnog tijela u međuprostoru potiskuje se tečnost iz međuprostora u tubing kroz ventil i vrši se liftovanje tečnosti koja se nalazi iznad ventila u tubingu. Poslije toga ventil se zatvara a potiskivanje tečnosti se vrši kroz slijedeći ventil (postavljen dublje na tubingu). Na taj način, početak liftovanja je bez velikog pritiska, a nivo tečnosti u međuprostoru se postepeno spušta do pete tubinga.

Povremeno liftovanje

Pri niskim dinamičkim nivoima kod bušotine u liftovanju dolazi do velike potrošnje radnog tijela. U cilju sniženja potrošnje postepeno je da se poveća dubina potapanja tubinga i da se vrši periodično utiskivanje gasa. Na dovodnoj cijevi gasa za liftovanje postavlja se automatski uređaj koji u određenim momentima vrši otvaranje i zatvaranje ventila za gas. Na taj način, početak liftovanja je bez velikog pritiska, a nivo tečnosti u međuprostoru se postepeno spušta do pete tubinga.



Slika 2 - Uproščena šema periodičnog liftovanja

Gas ili vazduh se utiskuju u međuprostor a smješa se podiže kroz tubing (slika 2). Kada se istisne nakupljena tečnost prestaje se sa utiskivanjem radnog tijela. Posle toga čeka se da se tečnost ponovo nakupi i ciklus liftovanja se ponavlja. Period liftovanja i period stajanja se utvrđuju ispitivanjem bušotine.

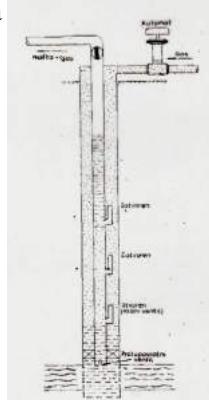
Za slične uslove u bušotini vrši se liftovanje i pomoću ventila.

Gas pod pritiskom treba da se dovede do radnog ventila, koji će da propusti neophodnu količinu gase kako bi se obezbjedila dovoljna brzina za podizanje tečnosti koja se nakupila u tubingu.

Moment kretanja smješa u tubingu kod povremenog liftovanja prikazan je na slici 3.

Prije početka liftovanja automat na površini i ventili za liftovanje su zatvoreni tečnost nadolazi iz sloja, prolazi kroz protupovratni ventil i podiže se u tubingu.

U momentu otvaranja ventila, pritisak u tubingu, na dubini radnog ventila, iznosi 50—75 % od pritiska u međuprostoru. Kada automat na površini otvoriti ventil za gas, onda gas pod pritiskom ulazi u međuprostor, prolazi kroz radni ventil i istiskuje na površinu tečnost koja automat zatvara dovod gase u i istiskuje tečnost, a pritisak međuprostoru se



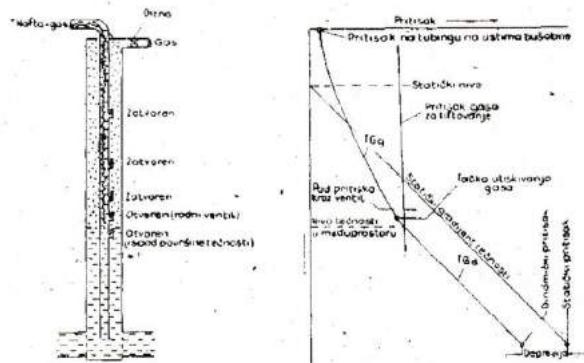
Slika 3- Moment kretanja smješa u tubingu kod povremenog liftovanja

Radni ventil će biti otvoren sve dotle (dok pritisak u međuprostoru ne padne na pritisak zatvaranja ventila. Pooslije vremena, potrebnog za sakupljanje tečnosti u tubingu, opisana operacija liftovanja se ponavlja.

Kontinualno liftovanje

Kontinualno liftovanje se vrši i sa primjenom ventila za liftovanje.

Kod ovakvog liftovanja neprekidno se utiskuje gas pod pritiskom u pokretni stub tečnosti tako da od mjesta utiskivanja gase nastaje gazeifikacija tečnosti sve do površine i stvara se dinamički pritisak pri kome se vrši proizvodnja. Za sve vrijeme rada bušotine postoji aktivno dejstvo gase. koji dolazi iz sloja.



Slika 4- Rad kontinualnog lifta sa ventilima

Dinamički pritisak može da se izračuna po slijedećoj formuli

$$P_d = P_t + TG_g L + TG_d (H - L)$$

Pd - dinamički pritisak u at;

Pt - pritisak u tubingu na ustima bušotine u at;

TGg - tekući gradijent pritiska iznad tačke utiskivanja gase u at/l m;

L - dubina ventila u m;

TGd - tekući gradijent pritiska ispod tačke utiskivanja gase U at/1 m;

H - dubina bušotine u m ;

Ako je tačka utiskivanja gase blizu pete tubinga, koja se nalazi na sredini perforacije, onda se prikazana jednačina može napisati u slijedećem obliku:

$$P_d = P_t + TG_g H$$

Pošto se TGg pojavljuje i u jednoj i u drugoj jednačini onda može da se kaže da je minimalni dinamički pritisak, koji je neophodan za liftovanje, funkcija minimalnog tekućeg gradijenta pritiska iznad tačke utiskivanja gase.

U koliko se tačka utiskivanja gase nalazi dublje biće potreban veći pritisak gase kako bi se bušotina liftovala sa željenim dinamičkim pritiskom.Za bušotine dubine oko 3 000 m tačka utiskivanja gase se nalazi na dubini oko 1200 m.Ako je potrebno da se poveća dubina utiskivanja gase onda se razmatra mogućnost za prelazak na povremeno liftovanje kojim bi se doble iste količine nafte.

Kontinualno liftovanje se preporučuje u svim slučajevima, bez obzira na veličinu proizvodnje bušotine, gdje su ispitivanjem dobijeni povoljni rezultati.

Inače, kontinualno liftovanje se primjenjuje u slijedećim slučajevima:

kod bušotine sa visokom proizvodnjom u slučaju malog kapaciteta tubinga liftovati po centralnom sistemu;

ako gasni faktor od utiskivanog gase ne prelazi isti gasni faktor

kod povremenog liftovanja, bez obzira na veličinu proizvodnje bušotine;

kada varijacije dinamičkog pritiska izazivaju prodor pijeska u buštinu i ako dolazi do stvaranja pješčanih čepova u tubingu ikad bušotina sa velikim gasnim faktorom.

Kontinualno liftovanje je podesno za dobijanje podzemnih voda.

Prednosti kontinualnog liftovanja nad povremenim su slijedeće:

kod kontinualnog liftovanja koristi se energija ekspanzije od pritiska utiskivanja do pritiska na glavi tubinga;

kontinualno liftovanje troši manje gase od povremenog liftovanja. Pritisak gase iza stuba tečnosti, kod povremenog liftovanja, ne može se iskoristiti na površini;

energija gase iz ležišta se u potpunosti koristi kod kontinualnog liftovanja

u kružnom ciklusu gase manji su gubici kod kontinualnog nego kod povremenog liftovanja;

kontinualno liftovanje ne zahtijeva specijalne automatske uređaje na površini.

Kod primjene kontinualnog liftovanja mora se voditi računa o minimalnom dinamičkom pritisku (maksimalna depresija) koji je neophodan za neprekidni proces rada.

Postupak sniženja nivoa tečnosti u međuprostoru je analogan kao kod povremenog liftovanja samo što se ne primjenjuje automat na površini i što prток tečnosti iz sloja ranije dolazi do uticaja na proces liftovanja nego u slučaju povremenog liftovanja

Oprema usta bušotine

Na ustima svake bušotine u liftovanju postavlja se uređaj, koji će omogućiti postavljanje (vješanje) jedne ili dvije cijevi za liftovanje, koji će obezbjediti hermetičnost i koji omogućava utiskivanje radnog tijela u buštinu i usmjerava kretanje proizvodnje iz bušotine.

Kao oprema na ustima bušotine može se koristiti erupcioni uređaj

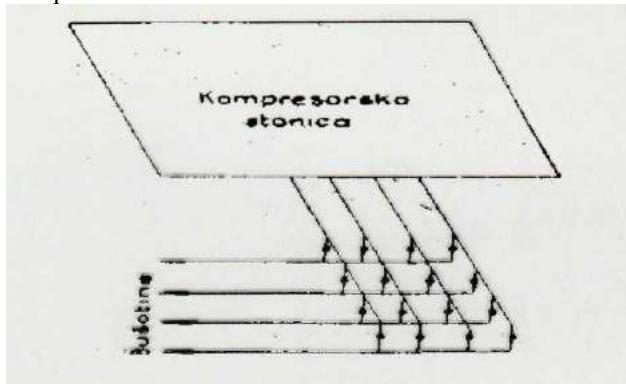
Sistemi za raspodjelu radnog tijela

Na polju, koje se eksploriraju liftovanjem, raspodjela radnog tijela može da se vrši kroz tri sistema:

Individualni (slika 5),

magistralni i (slika 6) centralni (slika 7)

- Individualni sistem (sl. 5) se sastoji u tome što svaka bušotina ima svoj cjevovod za radno tijelo, koji polazi od kompresorske stanice.



Slika 5- Individualni sistem

Za jedan cjevovod može da bude priključen bilo koji od kompresora kompresorske stanice. Mogu i više kompresora da se vežu na jedan cjevovod.

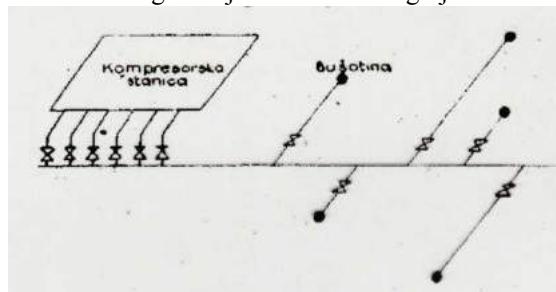
Kolektor za raspodjelu radnog tijela nalazi se kod kompresorske stanice.

Prednost ovakvog sistema sastoji se u jednostavnosti individualnog rada svakog kompresora. Svaka bušotina može da dobije potreban pritisak i količinu radnog tijela.

Nasuprot tome, može da se desi da jedan kompresor ne obezbedi potrebnu količinu radnog tijela za datu bušotinu, a da dva kompresora budu suvišna.

To dovodi do nepotrebnog trošenja energije što se smatra nedostatkom individualnog sistema. Magistralni sistem (sl.6) predstavlja jedan cjevovod u kojiji se dovodi komprimirano radno tijelo od svih kompresora u stanici. Svaka bušotina u liftovanju je posebnim cjevovodom vezana za magistralni cjevovod.

Pomoću ventila se vrši reguliranje količine radnog tijela



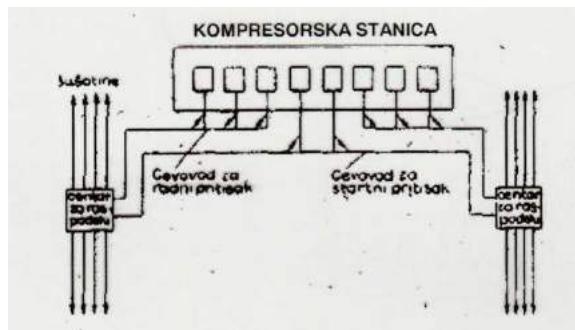
Slika 6-Magistralni sistem

Nedostatak magistralnog sistema se sastoji u tome što je potrebno da se u njemu održava visok pritisak i ako samo jedan mali broj bušotina, za normalan rad, zahtjeva visok pritisak, dok ostalim bušotinama takav pritisak nije potreban. U početku liftovanja na izvjesnom broju bušotina treba da se smanji ili potpuno obustavi utiskivanje gasa što dovodi do smanjenja proizvodnje i stvaranja pješčanih čepova.

Ventili za reguliranje su rasturedni, po cijelom polju tako da se pri reguliranju jedne bušotine ne zna šta se dešava sa ostalim bušotinama. Magistralni sistem se primjenjuje kod uskih i dugačkih ležista, gdje je raspored bušotina posebno podešan za primjenu takvog sistema.

Centralni sistem (sl.7) je najpogodniji za raspodjelu radnog tijela, jer predstavlja kombinaciju individualnog i magistralnog sistema. Kod ovoga sistema bušotine se teritorijalno grupišu.

U sredini svake grupe izrađuje se centar sa kompresorima za raspodjelu radnog tijela



Slika 7_Centralni sistem

Od kompresorske stanice dovodi se radno tijelo pomoću dva, tri pa i četiri cjevovoda.

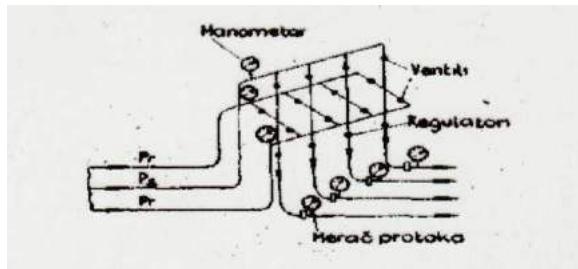
Ako su dva cjevovoda onda jedan služi za startni a drugi za radni pritisak.

Ako su tri cjevovoda onda jedan služi za startni a druga dva za radni (niski i visoki) pritisak.

Kod četiri cjevovoda dva mogu da budu za radni a dva za startni pritisak

Kolektori za raspodjelu gasa(slika 8) nalaze se u specijalno izrađenoj zgradi, koja mora da ima dobru ventilaciju i pod od nabijene gline, koji prilikom pada nekog metalnog predmeta neće izazivati varnicu.

Osvjetljavanje zgrade vrši se svjetiljkama koje se nalaze izvan nje u specijalnim udubljenjima , koja štite električnu instalaciju od vlage.



Slika 8-Koilektor za raspodjelu gasa

Centar za raspodjelu gasa može da ima od 4 do 8 kolektora

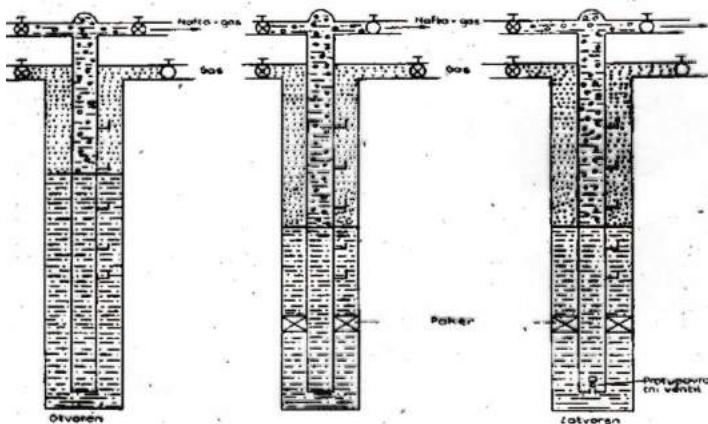
Na kolektoru su postavljeni manometri, regulatori, mjerači protoka i ventili

Dovod radnog tijela do kolektora vrši se preko dva cjevovoda za radni i jedan cjevovod za startni pritisak

Ventili za liftovanje

- Ventili za liftovanje imaju zadatku da se kod određenog pritiska otvaraju i stvaraju vezu između međuprostora i tubinga, a kod nekog drugog (manjeg) pritiska da se zatvaraju.

- Ventili se postavljaju na spolnjem zidu tubinga, a na određenim dubinama ispod nivoa tečnosti u međuprostoru.



potiskivanje tečnosti iz međuprostora u sloj, mada postoji mogućnost da se tečnost iz tubinga potiskuje u sloj Kod zatvorenog sistema, na donjem dijelu tubinga, postavljen je protupovratni ventil koji sprečava kretanje tečnosti iz tubinga prema donjem dijelu bušotine

Slika 1-Sistem lifta sa ventilima

Ventili doprinose smanjenju startnog pritiska tako da se koriste za početak liftovanja i za povremeno liftovanje.Danas se ventili primjenjuju i u sistem kontinualnog liftovanja.

Primarnu ulogu ventili imaju u sistemu povremenog liftovanja, koji zbog svoje specifičnosti zahtjeva znatno smanjenje pritiska i količine radnog tijela.Sistem lifta sa ventilima može da bude otvoren, poluzatvoren i zatvoren (slika 1): Poluzatvoren sistem ima ugrađen paker u dijelu tubinga ispod ventila. Paker sprečava

EKSPLOATACIJA LIFTOVANJEM

1. 1. Karakteristike liftovanja

Liftovanje, kao metoda eksploatacije nafte, prvi put je u Pensilvaniji oko 1865. godine. Posle toga primjenjeno je u Meksičkom zalivu (Gulf Coast) a zatim u Kaliforniji.

Liftovanje je u početku vršeno komprimiranim vazduhom ali se ubrzo prešlo na komprimiran gas. Metoda eksploatacije liftovanjem je poznata i pod imenom »kompresorska eksploatacija«.

Ako uređaji za liftovanje rade pomoću komprimiranog vazduha onda se takvo liftovanje naziva erliftom, a ako rade pomoću komprimiranog gasa onda se naziva gasliftom. Prednosti eksploatacije liftovanjem su slijedeće:

- a. konstrukcija opreme je jednostavna u poređenju sa nekim metodama eksploatacije za dubine preko 2 500 m;
- b. oprema je postavljena na površini tako daje lako dostupna radnicima koji vrše nadzor i opsluživanje;
- c. postoje mogućnosti za proizvodnju većih količina tečnosti;
- d. jednostavno je regulisanje proizvodnje bušotina;
- e. primjena je ista kako u vertikalnim tako i u krivim (dirigovano bušenim) bušotinama;
- f. upumpavanjem tečnosti u međuprostor moguće je da se spriječi stvaranje pješčanih čepova u procesu rada;
- g. količina gase, koja se izdvaja u bušotini, ne ometa normalnu eksploataciju, već naprotiv, olakšava podizanje tečnosti na površinu.

Pored navedenih prednosti, metoda liftovanja ima i ozbiljne nedostatke, kao:

- a. koeficijent korisnog dejstva ne prelazi 5% za kompletan sistem od kompresora do tubinga;
- b. veća je potrošnja cijevi naročito kod bušotina koje sa naftom daju i pjesak;
- c. obzirom da je šira primjena gaslifta nego erlifta, neophodno je raspolagati dovoljnim količinama gase;
- d. ako su oštećene zaštitne kolone onda je nemoguće vršiti liftovanje;
- e. neophodna je izrada kompresorskih stanica.

U poslednje vrijeme se skoro obavezno upotrebljavaju ventili za liftovanje (liftventili) koji znatno doprinose usavršavanju procesa eksploatacije liftovanjem.

Količina tečnosti, koju može da da tubing bušotine u liftovanju, zavisi od količine radnog tijela.

Ta zavisnost se mijenja sa dubinom potapanja tubinga pod nivoom u bušotini, sa prečnikom cijevi i sa veličinom protivpritiska na izlazu iz bušotine. Svakako da na veličinu proizvodnje utiče:

koeficijent produktivnosti bušotine, viskozitet i specifična težina tečnosti, količina gasa u smješi i količina pjesaka koji nadolazi u bušotinu.

Navedeni faktori otežavaju teoretsko određivanje količine radnog tijela.

Za proračun tubinga i lift kolone postoji mnogo eksperimentalnih i teoretskih radova američkih i sovjetskih naučnika, ali još nije data tačna formula, koja bi se uspješno primjenjivala u praksi tako da se pri projektovanju sistema liftovanja uzima u obzir slijedeće:

- a. najpogodniju količinu radnog tijela za podizanje tečnosti treba odrediti ispitivanjem bušotina na taj način što će se za svaku bušotinu izraditi kriva zavisnosti proizvodnje od količine radnog tijela,
- b. prečnik tubinga treba birati u zavisnosti od predviđene proizvodnje bušotine i
- c. dubinu potapanja liftkolona treba po mogućnosti povećati zato što to povećava koeficijent korisnog dejstva tubinga.

1.2. Princip liftovanja

Da bi se omogućilo liftovanje potrebna su dva cjevovoda u bušotini: za dodavanje radnog tijela i za podizanje tečnosti.

Podizanje tečnosti komprimiranim gasom se vrši pod dejstvom

sile gasa koji se kreće kroz bušotinu. Gas, koji je ušao u tubing, kretanje se u pravcu najmanjeg otpora, tj. prema ustima bušotine.

Da bi se smješa nafte i gase kretala kroz tubing potrebno je da u svakoj tački tubinga bude veći pritisak od pritiska stuba gaze i tečnosti od date tačke do usta bušotine. Pored toga, svi usputni otpori treba da budu savladani. Ako se gas u tečnosti nalazi u obliku mjehurića onda će se pojaviti dopunska sila za podizanje koja će biti jednaka težini tečnosti istisnutoj mjehurićima gase. Dejstvo gasea kao sile vrši se po dodirnoj površini između nafte i gasea. Sila gasea za podizanje djeluje na tečnost putem neposrednog pritiska

i putem trenja gasa i tečnosti.U stvarnim uslovima nisu jednake brzine kretanja tečnosti i gase.Gas kao lakši, nastoji da se probije kroz tečnost te je i njegova brzina kretanja veća od brzine kretanja tečnosti. Specifična težina smješte proporcionalna je odnosu površine presjeka zauzetoj tečnošću prema ukupnoj površini presjeka cijeviPri jednakim brzinama tečnosti i gase, površine poprečnih presjeka zauzete tečnošću i gasom su proporcionalne njihovim zapreminskim količinamaUkoliko se gas kreće brže od tečnosti onda će, pri istim zapreminskim količinama, tečnost zauzeti veću površinu u odnosu na prethodnu, a gas manju.U drugom slučaju, specifična težina smješte će se uslijed različitih brzina kretanja povećati pa će biti potrebna veća sila za potiskivanje stuba veće specifične težineOsim toga, doći će i do trenja tečnosti o zid cijevi. Iz ovog proizilazi da će postojati dvije vrste gubitaka:

- gubici usled klizanja ili relativnog kretanja i
- gubici uslijed trenja.

Prema profesoru Bagdasarovu podizanje tečnosti se vrši po principu klipne pumpe

Ta pumpa je nehermetična i propušta dio tečnosti prema doleSlivanje tečnosti se vrši po cijeloj visini jednovremenoEnergija koja se troši na podizanje slivajuće tečnosti je izgubljena energija pošto se ona troši na nekoristan rad

U formule za proračun ulazi:

- dubina potapanja,
- visina podizanja tečnosti i
- procenat potapanja.

Pod dubinom potapanja podrazumjeva se visina stuba degazeificirane tečnosti, koja odgovara pritisku u peti

tubinga za vrijeme rada bušotine.:

$$h = \frac{10 \cdot P_b}{\gamma}$$

gde su: h - dubina potapanja lift cijevi u m;

P_b - pritisak u peti ;

γ - specifična težina degazeificirane tečnosti u bušotini.

Visinom podizanja ho naziva se rastojanje od nivoa tečnosti usta bušotine u radu:

$$h_o = L - h$$

gde je L — dužina lift kolone (tubinga) u m.

Procentom potapanja naziva se odnos dubine potapanja prema ukupnoj dužini lifta, pomnožen sa 100:

$$h_{pr} = \frac{h}{L} \cdot 100$$

U pogonskoj praksi, procenat potapanja se određuje na osnovu pritiska radnog tijela po sledećoj formuli:

$$h_{pr} = \frac{10 \cdot P_r}{\gamma \cdot L} \cdot 100$$

Koeficijent korisnog dejstva lifta

Kompresori treba da obave znatno veći rad za podizanje tečnosti nego što je to teoretski potrebno. Svišan rad (se troši na gubitke pri kretanju tečnosti kroz tubing. Odnos teoretski neophodnog rada prema ukupno utrošenom radu naziva se koeficijentom korisnog dejstva (k.k.d.)tj.

$$\eta = \frac{W_K}{W_U}$$

Za podizanje Q kg nafte sa dubine H m treba izvršiti rad QH (kgm) = W_k. Komprimirano radno tijelo sposobno je da pri širenju izvrši slijedeći rad:

$$W_u = 2,3 \cdot P_{at} \cdot V_0 \cdot 1g \cdot \frac{P_1}{P_2} \text{ (kgm)}$$

gde su: P_{at} - atmosferski pritisak ;

V₀ - zapremina radnog tijela pri atmosferskom pritisku

P₁ - pritisak komprimiranog radnog tijela ;
 P₂ - pritisak radnog tijela posle širenja.

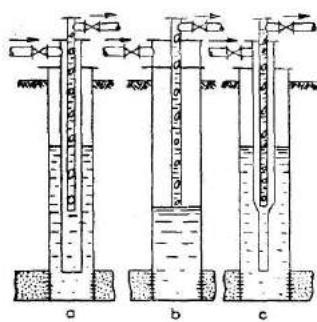
Prema iznijetom k. k. dejstva će biti

$$\eta = \frac{W_k}{W_u} = \frac{QH}{2,3 \cdot P_{at} \cdot V_0 \cdot l \cdot g \cdot \frac{P_1}{P_2}}$$

SISTEMI LIFTOVANJA

U zavisnosti od broja nizova ugrađenih cijevi i njihovog uzajamnog položaja, od pravca kretanja radnog tijela i pravca kretanja naftno gasne smješte postoje nekoliko vrsta sistema za liftovanje.

Prema broju ugrađenih cijevi lift može da bude jednoredni i dvoredni, a prema pravcu kretanja radnog tijela prstenasti i centralni (slika 1).



Sl. 57

Prstenasti sistem

Na slici 1 prikazane su varijante lifta prstenastog sistema:

dvoredni (slika 1 a i c)

jednoredni (slika 1 b)

Kod dvorednog lifta u bušotinu se spuštaju dva koncentrična niza cijevi.

Radno tijelo se utiskuje u prstenasti prostor između cijevi, a tečnost se podiže kroz unutrašnju cijev.

Spoljašnji niz cijevi se naziva liftkolona a unutrašnji tubing. Za spoljašnje cijevi se kaže i da su cijevi prvog reda, a za unutrašnje cijevi da su cijevi drugog reda. Kod jednorednog lifta (sl. 1-b) ugrađuje se jedan niz cijevi, što će biti tubing, a kao liftkolona služi zaštitna kolona. Radno tijelo se utiskuje u međuprostor između zaštitne kolone i tubinga. Kao što se na slici 1 vidi radni nivo tečnosti u bušotini će biti kod pete tubinga. Na slici 1 c prikazana je stepeničasta varijanta lifta kod koga je liftkolona stepeničasta. U donjem delu liftkolona ima manji prečnik, a u gornjem delu veći.

Prikazani sistem lifta je nešto jeftiniji od normalnog dvorednog zato što je, manja težina ugrađenih cevi.

Uslovi za iznošenje pjeska su nešto poboljšani. Nedostatak stepeničastog lifta se sastoji u teškoćama kod povećanja dubine potapanja.

Da bi se povećala dubina potapanja neophodno je da se potpuno izvuče tubing, liftkolona da se izvuče do prelaza, da se promjeni mjesto prelaza i zatim da se ponovo ugradi liftkolona u tubing.

Centralni sistem.

Kod centralnog sistema ugrađuje se samo jedan niz cijevi (tubing). Radno tijelo se utiskuje kroz tubing a naftnogasna smješta se i podiže kroz međuprostor. Kod tog sistema nemoguće je da se osmatra dinamički nivo u bušotini. Osnovna preimljstva sistema se sastoje u niskom startnom pritisku i u najboljem iskorištenju prostora u bušotini.

Centralni sistem ima i niz nedostataka, kao što su: oštećenje spojnica na tubingu pa čak i oštećenje kolone od pjeska koji nosi sa sobom naftno-gasna smješta, koja se kreće kroz međuprostor; može doći do sužavanja međuprostora od nataloženog parafina, koji nafta nosi sa sobom ili od nataloženih soli u slučaju velike koncentracije soli u slojnoj vodi.

Princip rada jednorednog i dvorednog lifta je isti.

Dvoredni lift ima preimljstvo što mu je zapremina međuprostora manja te su mu radni pritisak i strujanje tečnosti sa manjim pulsacijama nego kod jednorednog lifta.

Pojave pulsacije izazivaju narušavanje pribušotinske zone i stvaranje pješčanih čepova.

Startni pritisak (pritisak za početak liftovanja) je znatno niži kod dvorednog nego kod jednorednog lifta.

Kod jednorednog lifta su znatno pogoršani uslovi iznošenja pjeska naročito u slučaju kada tubing nije spušten do perforiranog intervala. Nedostaci jednorednog lifta su odstranjeni primjenom izvesnih usavršavanja.

Dobre strane jednorednog lifta se sastoje u niskoj cijeni opreme i u širokoj mogućnosti za izbor prečnika tubinga. Ako se uzme da su otklonjeni nedostaci jednorednog lifta onda se jednoredni lift centralnog sistema može smatrati kao najpoželjniji. Kod bušotina sa velikom proizvodnjom i malim količinama pjeska najbolja je primena centralnog (jednorednog) sistema.

. Mali lift.

Izvjesne bušotine ne imogu da se eksplorisu dubinskom pumpom, zbog velike količine pjeska koji nadire sa naftom iz sloja. U cilju obezbeđenja iznošenja peska iz bušotine i povećavanja međuremontnog perioda, na poljima Bakua sa uspehom su primjenjeni mali liftovi. Prvi red je bio od cijevi $2\frac{1}{2}$ " (unutrašnji prečnik) a drugi red od cijevi $1\frac{1}{2}$ ".

Na jednom polju uspelo se da se poveća međuremontni period bušotine na 300 dana, a cijena proizvodnje nafte se snizila za dva puta u odnosu na cenu dubinskog pumpanja.

Kompresori

Kao izvorišta radnog medija za eksploataciju liftovanjem mogu se, prije svega, pojaviti gasne bušotine ili krupni recirkulacijski i gasno-kompresorski uređaji.

Kompresorski sistem, koji se koristi pri liftovanju, može biti:

otvoren,

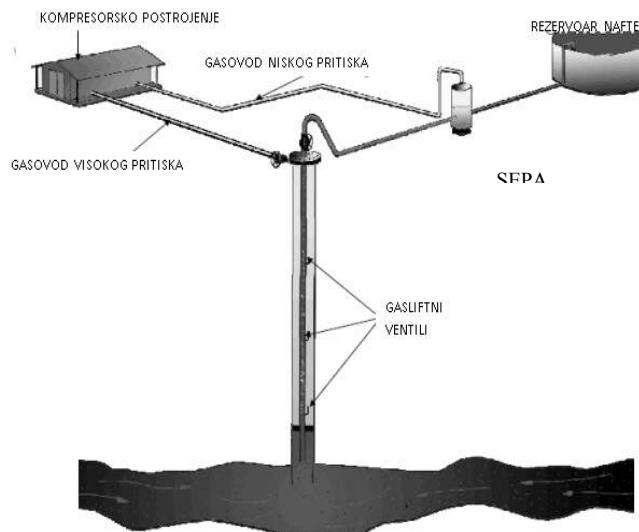
poluzatvoren i

zatvoren (kružni).

U otvorenom kompresorskom sistemu, gas iz dijela sistema sa niskim pritiskom ulazi u kompresor, gdje se kompresuje do operativnog pritiska potrebnog za liftovanje.

Kompresovani gas se koristi za liftovanje, a zatim se vraća u dio sistema sa niskim pritiskom za sakupljanje, bez namjere da se ponovo koristi. Poluzatvoren kompresorski sistem je, u osnovi, sličan otvorenom sistemu. Razlika je u tome što se gas niskog pritiska, koji dolazi iz bušotine, može ponovo kompresirati. Ovaj sistem se, kao i prethodni, koristi tamo gdje na raspolaganju imamo velike količine gasa, tako da nema potrebe za kružnim tokom gasa. Zatvoren (kružni) kompresorski sistem predstavlja zatvoren kružni proces kretanja gasa, u kome se praktično istom količinom gasa (uz manje gubitke) liftira odgovarajuća količina naftno-gasne smjese.

U zatvorenom sistemu (slika 1.), gas se kreće od kompresora do bušotine (mrežom visokog pritiska), zatim do separatora i nazad do kompresora (mrežom niskog pritiska). Na ovaj način se gas kreće po sistemu u zatvorenom krugu.



Slika 1. Shema zatvorenog (kružnog) kompresorskog sistema

Pri izboru sistema za kompresovanje gase, treba imati u vidu:

- položaj sabirnih, odnosno mjernih stanica i bušotina na razmatranom polju,
- položaj kompresorske stanice treba da je adekvatno lociran u odnosu na postojeće i perspektivne bušotine, vrstu sistema za liftovanje
- konstrukciju ventila za liftovanje
- maksimalne količine gase potrebne za liftovanje, u određenim vremenskim periodima,
- količine gase kojima se raspolaže za kompresovanje,
- maksimalni pritisak utiskivanja gase u bušotine,
- pritisak i temperaturu raspoloživog gase,
- padove pritiska u cijevnoj mreži i opremi,
- radni pritisak u separatorima,
- dimenzije i parametre gasne mreže visokog i niskog pritiska,
- pritisak utiskivanja gase na ustima bušotine i pritisak u separatoru,
- uslove pri kojima može doći do stvaranja hidrata. Pravilan izbor kompresora bazira se na podacima dobijenim proračunom sistema za liftovanje, tako da ti podaci moraju biti precizni. Treba nastojati da se kompresorska stanica nalazi u središnjem dijelu polja, kako bi pad pritiska u gasovodima, od kompresora do bušotina, bio što manji.

Neprekidno liftovanje je povoljnije za kompresor, jer je pritisak na usisu kompresora približno konstantan, pa je i stepen iskorišćenja kompresora veći.

Ako se primjenjuje povremeno liftovanje, treba vršiti proračun kompresora za najnepovoljnije uslove. U zavisnosti od konstrukcije i vrste primjenjene metode liftovanja, pritisak gase na izlazu iz kompresora treba da je 7 - 10 bara veći od radnog pritiska utiskivanja gase.

Za izbor kompresora veoma je važna vrijednost pritiska na usisu.

Pri proračunu treba uzeti u obzir pritisak u separatoru, potrebnu količinu gase, udaljenost separatora od kompresora, prečnik gasovoda i konfiguraciju terena, kako bi se što tačnije izračunao pad pritiska gase od separatora do kompresora, a time i očekivani pritisak na usisu kompresora.

Proračun osnovnih parametara kompresora

Za eksploraciju liftovanjem najčešće se koriste dvostepeni i trostupeni klipni kompresori, pokretani gasnim motorima (gasmotorkompresori) ili elektromotorom. U novije vrijeme, sve više počinju da se koriste centrifugalni kompresori sa gasnim turbinama ili elektromotornim pogonom. Pri proračunavanju snage i kapaciteta kompresora treba uzeti u obzir sledeće parametre:

- pritisak gase na usisu kompresora,
- pritisak gase na izlazu kompresora,
- temperaturu gase na usisu kompresora,
- količinu gase koju treba kompresovati,
- nadmorsku visinu mjesta postavljanja kompresora,
- atmosferski pritisak na mjestu postavljanja kompresora,
- gustinu gase, ili njegovu molekuranu masu,
- odnos specifičnih temperatura gase .

Stepen kompresije se računa prema obrascu:

$$R_c = \frac{P_{ik}}{P_{uk}}$$

gdje je:

- pik - pritisak na izlazu kompresora (Pa, bar),
- puk - pritisak na usisu kompresora (Pa, bar).

svaki stepen, izračunava se idealni stepen kompresije (R_{ci}) (ako se radi o dvostepenom kompresoru, izračunava se drugi korjen, a ako se radi o trostupenom kompresoru, onda treći korjen), po formuli:

$$R_{ci} = \sqrt{R_c}$$

gdje indeks "i" označava broj stepeni sabijanja. Izračunavaju se idealni pritisci kompresovanja pojedinih stepeni, pri čemu se uzima da je usisni apsolutni pritisak svakog sledećeg stepena jednak apsolutnom pritisku kompresovanja gase u predhodnom stepenu kompresora. Pritisak između prvog i drugog stepena iznosi:

$$p_{1-2} = p_{us} \cdot R_{ci} \text{ (bar)}$$

Pritisak između drugog i trećeg stepena iznosi:

$$p_{2-3} = p_{1-2} \cdot R_{ci} \text{ (bar)}$$

Snagu, potrebnu za kompresovanje gasa, izračunavamo po jednačini:

$$N_a = 4,3 \cdot \left(\frac{\kappa}{\kappa - 1} \right) \cdot T_{us} \left[\left(\frac{P_{ik}}{P_{uk}} \right)^{\frac{z(\kappa-1)}{k}} - 1 \right]$$

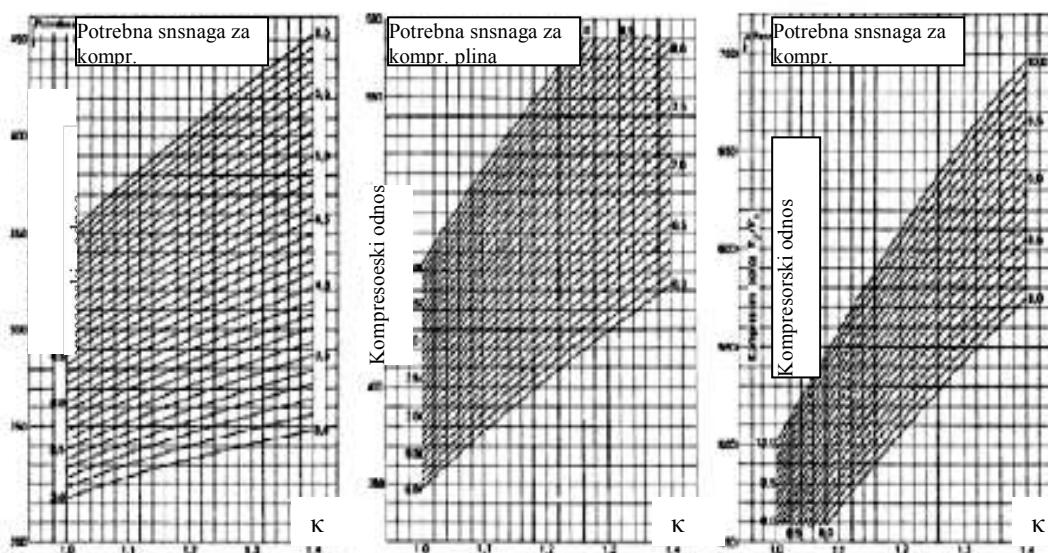
gdje je:

Na - teoretska snaga, potrebna za adijabatsku kompresiju ukupno 1·106 Nm³ realnog gasa (kW),

κ - koeficijent adijabate, koji se uzima za uslove usisavanja (bez dimenzije),

z - korekcioni faktor za odstupanje ponašanja prirodnog gasa, pri uslovima usisavanja, od zakona koji važe za idealne gasove.

Snagu, potrebnu za kompresovanje gasa, možemo dobiti iz dijagrama koji su prikazani na slici 2.



Slika 2. Dijagrami odnosa snage kompresora na izlaznoj osovinji, kompresionog odnosa(ordinata) i koeficijenta adijabate "κ"(apscisa), pri kompresovanju 100.000 m³/dan prirodnog gasa, pri usisnoj temperaturi i pritisku usisa od 1,0258 bar

Potrebnu snagu treba izračunati za svaki od stepena posebno, a zatim se ukupna snaga dobija sabiranjem snaga potrebnih za kompresovanje po stepenima, odnosno:

$$N_u = N_1 + N_2 + \dots + N_i$$

gde je:

N₁ - snaga potrebna za kompresovanje u prvom stepenu kompresije (kW),

N₂ - snaga potrebna za kompresovanje u drugom stepenu kompresije (kW),

N_i - snaga potrebna za kompresovanje u i -tom stepenu kompresije (kW).

Odgovarajuće kućište za kompresor izabire se iz podataka koje nudi proizvođač kompresora.

Pri tome se, obično, uzima u obzir maksimalno raspoloživa standardna snaga kod punog broja obrtaja, koja uvijek mora biti veća od snage dobijene proračunom.

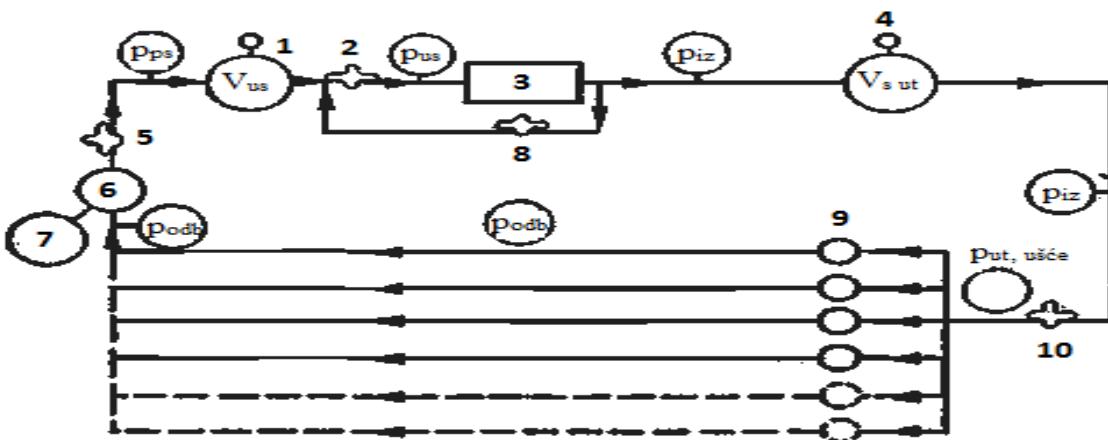
Proračun sistema utisnih i sabirnih cjevovoda

Kod proračunavanja sistema utiskivanja, mora se uzeti u obzir uključivanje novih bušotina u sistem liftovanja. Glavni razvodni cjevovodi moraju biti takvih razmjera da kroz njih može proći najveća potrebna količina gasa. Zapremina prostora za skladištenje gasa mora biti takve veličine da se pulsacije pritiska, koje se pojavljuju pri promjeni potrošnje gasa, svedu na najmanju moguću mjeru. To je posebno važno kad su u sistem uključene bušotine s povremenim liftovanjem. Kod proračuna zatvorenog kružnog sistema za iskorištavanje neprekidnim (kontinuiranim) liftovanjem, za svaku od bušotina prvo treba izračunati najveću potrebnu količinu gasa, a zatim izraditi nacrt pogona i na njemu ucrtati cjevovode za liftovanje, obilježivši za svaki od njih najveću količinu potrebnog gasa za napajanje bušotina. Najveća potrebna količina gasa utvrđuje se na pogonu, zbrajanjem zapremina gasa koje će trošiti svaka od priključenih bušotina. Nakon toga se utvrđuju prečnici cjevovoda, koji osiguravaju najveću propusnu moć i dozvoljeno smanjenje pritiska. Prečnici cjevovoda se obično određuju po nomogramima. Ti su nomogrami izrađeni na temelju Weymouthovog obrasca i pokazuju vrijednosti smanjenja pritiska na 1 km dužine cijevi različitih prečnika, za razne veličine protoka. Sabirni sistem proračunava se na isti način kao i pritisni sistem, pri čemu se uzima u obzir najekonomičnija upotreba postojećeg sabirnog sistema ili sistema pogonskog otpremanja (transportovanja) ogrjevnog gasa. Tamo gdje je to potrebno, moraju se predvidjeti mimovodni cjevovodi. Treba navesti da se sabirni sistem mora proračunati na veću zapreminu gasa (radni gas plus ležišni gas!), koji se nalazi pod manjim pritiskom, nego što je slučaj sa sistemom utisnih cjevovoda. Proračun zatvorenog sistema liftovanja, uključivši povremeno liftovane bušotine, znatno je složeniji od proračuna sistema kod kojih se sve bušotine neprekidno eksplloatišu liftovanjem. Budući da je kompresorskoj stanici svojstvena postojana količina gasa, to se problem njegovog skladištenja unutar sistema, koji poslužuje neprekidno liftovane bušotine, pojavljuje samo za usisne cjevovode kompresorske stanice.

Za povremeno liftovane bušotine, kratkotrajno su potrebne velike količine utiskivanog gasa, da bi potom gas dugo vremena bio posve nepotreban (tokom razdoblja prikupljanja nafte u bušotini).

Takva, povremena potražnja gasa je, za optimalni rad kompresora, nepovoljna, pa se pritisni i usisni cjevovodi moraju posebno proračunati, kako bi se predvidio odgovarajući prostor za prikupljanje gasa.

Kod proračun sistema koji poslužuje skupinu bušotina, dati su osnovni međusobni odnosi za rješavanje problema posluživanja skupine bušotina, uključenih u zatvoreni kružni sistem liftovanja (slika 3.).



Slika 3. Zatvoreni kružni sistem za nekoliko bušotina, sa sistemom povremenog liftovanja
 pt - pritisak utiskivanja u nizu zaštitnih cijevi; ptk - pritisak na izlasku gasa iz kompresora (stvarni pritisak utiskivanja); pus - pritisak na usisu kompresora; psu -niski pritisak ili pritisak u sistemu usisavanja; podb - pritisak separatoru; Vtk - zapremina gasa visokog pritiska (na izlasku iz kompresora); Vuk-zapremina gasa niskog pritiska (na usisu kompresora)

1.zapremina usisnog sistema s tanjurastim ventilom; 2. regulator pritiska; 3. kompresor; 4. zapremina pritisnog sistema s tanjurastim ventilom; 5. regulator protivpritiska; 6. separator; 7. skladište (spremište) za naftu; 8. odvod gasa od izlaska iz kompresora, da bi se mogućnosti obustavljanja rada kompresora zbog

nedostatka napajanja u slučaju nedovoljne zapremine gasa u usisnom sistemu, svele na najmanju moguću mjeru; 9. bušotine; 10. regulator pritiska.

Uslov najveće potrošnje gasa može se prikazati u slijedećem obliku:

$$G_{\max} = n_{\max} \cdot Q_{sr} \cdot T_{ru}$$

gdje je:

G_{\max} - najveća istovremena potražnja gasa (m³),

Q_{sr} - prosječna količina gasa utiskivana po bušotini (m³/min),

T_{ru} - dužina trajanja razdoblja utiskivanja (min/ciklus).

Gubici gasa iz sistema njegova prikupljanja iznose:

$$G_{zs} = n_{\max} \cdot Q_{sr} \cdot T_{ru} - Q_{\max} \cdot T_{ru} = T_{ru} \cdot (n_{\max} \cdot Q_{sr} - Q_{\max})$$

gdje je

G_{zs} - gubici gasa u sistemu (m³),

Q_{\max} - najveća proizvodnost kompresora (m³/min).

Gubici gasa iz skladišnih prostora iznose:

$$G_{zsp} = \frac{p_{tk} - p_t}{p_{at}} \cdot V_{tk}$$

gdje je:

V_{tk} - zapremina sistema utiskivanja (zapremina gase visokog pritiska na izlasku iz kompresora) (m³),

p_{tk} - predpritisak na izlazu iz kompresora (stvarni pritisak utiskivanja) (Pa),

p_t - predpritisak u cjevovodu ili najmanji potrebnii pritisak utiskivanja na ušću bušotine (pritisak utiskivanja u nizu zaštitnih cijevi) (Pa),

p_{at} - atmosferski pritisak (Pa).

Izjednačivši prethodne dvije formule, i rješivši formulu u odnosu na "V_{tk}", dobijamo:

$$V_{tk} = \frac{(n_{\max} \cdot Q_{st} - Q_{\max}) \cdot p_{at} \cdot T_{ru}}{p_{tk} - p_t}$$

Najveća istovremena potrošnja gasa prolazi, zajedno sa ležišnim gasom, kroz separator i vraća se u sistem usisavanja. Zanemari li se, pri neprekidnom radu kompresora, pritok ležišnog gasea, povećanje zapremine gasea u usisnom sistemu izrazit će se u obliku:

$$\Delta V_{uk} = n_{\max} \cdot Q_{st} \cdot T_{ru} - Q_{\max} \cdot t_{pgo}$$

gdje je:

t_{pgo} - vrijeme proticanja gasea kroz separator (s; min).

Ako se gas ne odvodi iz sistema, tada je zapremina sistema usisavanja jednaka:

$$V_{uk} = \frac{(n_{\max} \cdot Q_{st} \cdot T_{ru} - Q_{\max} \cdot t_{pgo}) \cdot p_{at}}{p_{su} - p_{us}}$$

gdje je:

V_{uk} - zapremina usisnog niskopritisnog sistema (na usisu kompresora) (m³)

p_{us} - niski pritisak ili pritisak u sistemu usisavanja (Pa),

p_{su} - pritisak na usisu (usisnom cjevovodu) kompresora (Pa).

Pri navedenom proračunavanju se pretpostavlja da se sav gas koji kompresor utiskuje ponovo njemu vraća, a da se ležišni gas ili ispušta u atmosferu, ili troši za pogonske potrebe, ili odlazi na tržiste.

Samo dio ležišnog gasea dolazi u zatvoreni kružni sistem, da bi se nadoknadili gubici u cjevovodima i količine gasea utrošene za pogon kompresora. Pomoću slike 3., taj se proračun može primjenjivati za zatvoreni sistem koji poslužuje skupinu bušotina sa povremenim liftovanjem.

Postoje tri rješenja sistema, a koji ćemo sistem izabrati zavisi prije svega od toga koje od ovih rješenja će duže raditi sa visokim stepenom ekonomičnosti. Na izbor bilo kojeg od sistema uticat će i faktori koji ne mogu bitnije uticati na izbor rješenja, ali ih treba imati u vidu.

Neki od njih su:
reljef područja,
mogućnost priključivanja novih bušotina u sistem,
blizina cjevovoda po kojima se gas otprema na tržište,
zapremina gasa koji se u te svrhe može koristiti i sadržaj benzinskih frakcija u njemu.
Moguća rješenja sistema su slijedeća:

Sistem sa najvećom zapreminom uskladištavanog gasa, koji se primjenjuje u slučajevima kada su pritisak na izlasku iz kompresora i potrebni pritisak utiskivanja gasa na ušćima bušotina približno jednaki.

Sistem sa srednjom zapreminom uskladištavanog gasa, za koji je potreban određeni povećani pritisak na izlasku iz kompresorske stanice,

Sistemi sa najmanjom zapreminom uskladištavanog gasa, koji zahtijeva visoku vrijednost pritiska u sistemu.

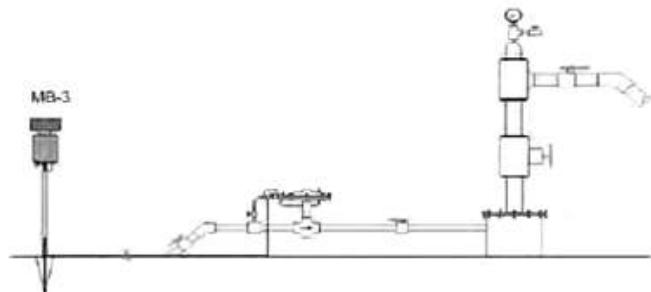
Automatski uredaji za liftovanje I šema eksploracije

Obzirom na mesto gde se vrši prekidanje snabdijevanja gasom, automati za periodično liftovanje se dijele u dvije grupe.U prvu grupu spadaju oni koji vrše prekid na ustima bušotine, a u drugu oni koji to prekidanje vrše na dnu, u komori.Obzirom na mehanizam zaustavljanja, dijele se, takođe, u dvije grupe.

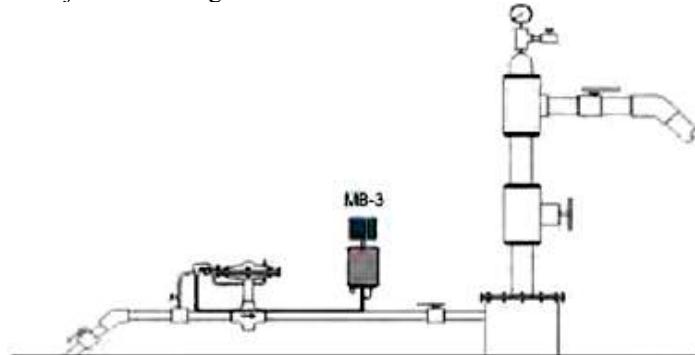
U jednu grupu spadaju automati koji vrše puštanje i prekidanje rada lifta pomoću satnog mehanizma, dok oni koji spadaju u drugu grupu vrše isti rad pomoću regulatora pritiska i, prema tome, prekidači rad lifta kod određenog pritiska.Kao je već rnaglašeno, trajanje prekida između dva liftovanja za svaku bušotinu određuje se praktično.

Automati se, prema tome, regulišu za određene periode liftovanja.Razvijeni vremenski automat "MB – 3", namijenjen je za regulaciju rada bušotine sa povremenim gasnim podizanjem.Na slikama 4. i 5. prikazani su primjeri postavljanja vremenskog automata na nosač i njegovo priključenje na elektromagnetski ventil.

Za razliku od prijašnje izvedbe vremenskog automata za povremeno liftovanje, koji se ugrađuje izvan prostora ugroženih eksplozivnom atmosferom (4 novija verzija postavlja se direktno na buštinu, što je prikazano na slici 5.



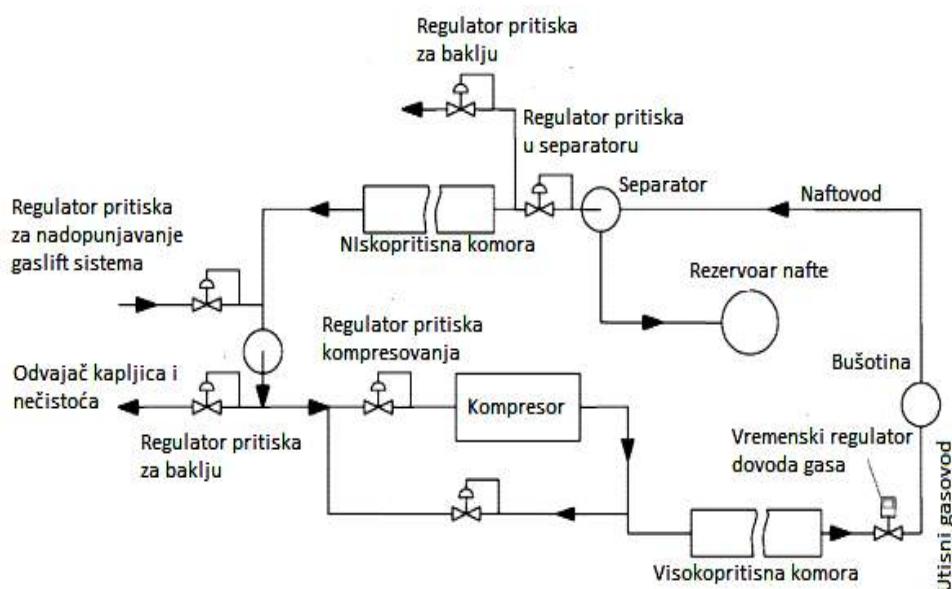
Slika 4. Ugradnja starije verzije vremenskog automata na buštinu



Slika 5. Ugradnja nove verzije vremenskog automata na buštinu

Automatski regulator količine radnog tijela obezbjeđuje stabilnost rada kompresorske stanice, smanjuje potrošnju radnog tijela do 20 %, a povećava proizvodnju nafte.

Primjenjuju se, takođe, i programski regulatori koji automatski mijenjaju potrošnju radnog tijela, prema unaprijed postavljenom programu, u zavisnosti od promjene statičkog pritiska u bušotini. Ovi regulatori mogu da budu podešeni tako da se, promjenom pritisaka radnog tijela u magistralnim cjevovodima, ne naruši režim rada automatizovane bušotine. Da bi se ovo postiglo, odabire se nekoliko malopropizvodnih bušotina u kojima se prinudno mijenja režim, zbog kompenzacije nedostatka ili viška radnog tijela u magistralnim cjevovodima, te se, na taj način, ne narušava režim rada ostalih bušotina. Vremenski regulator (automat) može da se kombinuje sa automatom za kontrolu pritiska, te se vrše slijedeća regulisanja: kod porasta pritiska u međuprostoru, prekida se utiskivanje gasa putem zatvaranja ventila, ako se pritisak u tubingu poveća zato što je bušotina počela eruptirati, sprečava se otvaranje ventila, kod porasta pritiska u tubingu, ako je ventil bio otvoren, potrebno je izvršiti njegovo zatvaranje, bez obzira na pritisak u međuprostoru. Izgled jedne sheme za eksplataciju liftovanjem sa vremenskim automatom (regulatorom), prikazan je na slici 6.



Slika 6. Postrojenje za eksplataciju nafte liftovanjem, opremljeno vremenskim regulatorom dovoda gasa (Samardžija, 2013.)

Ispitivanje bušotina u liftovanju

Ispitivanje bušotina u liftovanju vrši se po metodi ustaljene proizvodnje bušotine.

Pritisak na dnu se određuje dubinskim manometrom ili prema pritisku radnog tijela na ustima bušotine.

Režim proizvodnje bušotine može da se mijenja stvaranjem protivpritiska na ustima bušotine ili promjenom količine radnog tijela.

Bez obzira od izabranog načina promjene režima proizvodnje, mora se težiti da se u svakom zadatom režimu ostvari ustaljena proizvodnja bušotine (bez velikih pulsacija).

Nije uvijek moguće da se bušotine u liftovanju ispituju pomoću dubinskih manometara iz sljedećih razloga: velika brzina kretanja naftno-gasne smješte u tubingu otežava sruštanje dubinskog manometra; u tome slučaju dubinski manometar može da se spusti, samo kada bušotina ne radi, a to se ne može dozvoliti ako postoji opasnost od taloženja pijeska na dnu;

kod nedovoljno potopljenog tubinga sruštanja dubinskog manometra ispod pete tubinga može da se dozvoli samo ako je na kraju tubinga nalazi ljevak koji sprečava prihvatanje manometra i kidanje žice;

Iz navedenih razloga, ispitivanje bušotine na poljima vrši se po uprošćenoj metodi bez upotrebe dubinskih manometara, tj. određuje se pritisak na dnu prema pritisku radnog tijela na ustima bušotine.

To se ispitivanje može vršiti na dva načina:

promjenom protivpritiska na ustima bušotine pri konstantnoj potrošnji radnog tijela i
promjenom količine radnog tijela pri konstantnom protivpritisku na ustima bušotine.

Kod ispitivanja po prvom načinu vrši se mjerjenje količine radnog tijela i njegovog pritiska na ustima bušotine i mjerjenje proizvodnje bušotine. Zatim, održavanjem konstantne potrošnje radnog tijela, mijenja se i režim proizvodnje bušotine, odnosno smanjuje se proizvodnja promjenom dizne.

Kada se, posle nekoliko časova, ustali proizvodnja bušotine ponovo se vrše ista mjerena i kontroliše se nepromijenjenost potrošnje radnog tijela. Posle toga, ponovo se mijenja režim sa povećanjem protivpritiska na ustima bušotine i ponovo se vrše mjerena.

Na osnovu dobijenih podataka iz različitih režima određuje se pritisak na dnu i izrađuje indikatorska kriva. Iz pravolinijskog djela indikatorske krive određuje se produktivnost bušotine.

U praksi se, prema podacima iz dva bilo koja režima, određuju koeficijenti produktivnosti i ako se oni poklapaju dobivena vrijednost se uzima kao koeficijent produktivnosti.

U ovome slučaju dopušta se dozvoljena granica ekstrapolacije indikatorske krive.

Ako se sa q_1 q_2 q_3 označe proizvodnje bušotine pri različitim režimima (protivpritiscima na ustima bušotine), a sa P_1 , P_2 i P_3 odgovarajući pritisci radnog tijela, onda će koeficijenti produktivnosti biti

$$K_1 = \frac{q_1 - q_2}{P_2 - P_1} \quad \text{i} \quad K_2 = \frac{q_2 - q_3}{P_3 - P_2}$$

Ako je $K_1 = K_2$ onda će zavisnost proizvodnje od pritiska na dnu biti pravolinijska.

U prikazanom načinu ispitivanja, promjene pritiska radnog tijela na ustima bušotine odgovaraju promjeni pritiska u peti tubinga, pošto su, pri nepromijenjenoj potrošnji radnog tijela, nepromijenjeni gubici pritiska u prstenastom prostoru od usta bušotine do pete tubinga.

Pritisak stuba tečnosti od pete tubinga do dna bušotine približno je nepromijenjen, jer se gasni faktor kod bušotine u liftovanju u granicama vremena ispitivanja pojavljuje kao nepromijenjena veličina, a pritisak pod kojim se nalaze mjeđuhriči gasa u stubu tečnosti, mijenja se u neznatnim granicama.

Ipak, radi veće tačnosti u prethodnu formulu može da se uvede popravka, koja uzima u obzir promjenu srednje gustine naftno-gasne struje od pete tubinga do dna, pri promjeni pritiska radnog tijela u periodu ispitivanja. Formula za određivanje koeficijenta produktivnosti u ovom slučaju ima slijedeći oblik

$$K = \frac{q_1 - q_2}{\left(P_2 + \frac{h\gamma_2}{10} \right) - \left(P_1 + \frac{h\gamma_1}{10} \right)}$$

gdje su: V₁ i V₂ -srednje specifične težine naftno-gasne smješte od pete tubinga do dna h- visina od pete tubinga do dna

Za određivanje statičkog pritiska na dnu potrebno je da se zaustavi bušotina, ako to dozvoljavaju eksploracione karakteristike bušotine, da se izmjeri visina stuba tečnosti u bušotini i dobivena vrijednost da se pomnoži sa srednjom specifičnom težinom.

Srednja specifična težina određuje se po formuli:

$$\gamma = \frac{\gamma_z + \gamma_p}{2}$$

gdje su V_z-specifična težina nafte zasićene gasom ,određuje se analizom dubinskog uzorka
V_p-specifična težina nafte na površini pri temperaturi mjerena

Ispitivanje bušotine u liftovanju sa promjenjivom potrošnjom radnog tijela vrši se pri normalnom-ustaljenom režimu proizvodnje bušotine pri čemu se mjeri proizvodnja bušotine, potrošnja i pritisak radnog tijela Poslije toga se do maksimuma povećava količina radnog tijela i kada se postigne ustaljeni režim proizvodnje vrše se navedena mjerena

Zatim se uspostavlja minimalna proizvodnja pri čemu se ne dopuštaju oštре pulsacije struje, koje izazivaju znatna kolebanja pritiska radnog tijela

Na osnovu dobijenih podataka ispitivanja izrađuju se krive promjene proizvodnje bušotine i radnog pritiska od količine radnog tijela (slika 1)



Slika 1-Kriva promjene proizvodnje

Ponekad se izrađuje kriva koja pokazuje zavisnost specifične potrošnje radnog tijela (količina radnog tijela na 1t nafte) od apsolutne vrijednosti potrošnje radnog tijela

Ispitivanje bušotine sa primjenom protivpritiska preporučuje se kod bušotine u liftovanju sa visokim koeficijentom produktivnosti, a ispitivanje sa promjenom količine radnog tijela — kod bušotine sa niskim koeficijentom produktivnosti. Drugi metod ispitivanja dozvoljava utvrđivanje visine potrošnje radnog tijela za projektovani režim bušotine. Bušotina u liftovanju može da se ispituje i po krivima porasta pritiska na dnu poslije zaustavljanja rada, ali se u tom slučaju mora koristiti dubinski manometar (kao i kod eruptivne bušotine). U toku ispitivanja bušotine treba odrediti procent vode i pijeska u nafti. Ovi se podaci moraju uzeti u obzir pri utvrđivanju tehnološkog režima rada bušotine.

UKLANJANJE SMETNJI PRI LITOVANJU

BORBA S PIJESKOM

U cilju borbe protiv štetnog uticaja pijeska preuzimaju se slijedeće mjeru:
reguliranje proizvodnje tečnosti postavljanjem dizni na ustima bušotine
promjena dubine potapanja tubinga i primjena kombinovanog tubinga (promjenljivog presjeka),
lagano i ravnomjerno puštanje bušotine u proizvodnju
pumpanje nafte u međuprostor.U početnom periodu eksploracije proizvodnja bušotina koje su sklone
stvaranju pješčanih čepova treba da je minimalna.Proizvodnja bušotina može se postepeno povećavati do
prve pojave pijeska ili do maksimalne količine koju dozvoljavaju geološki uslovi.
Postepeno povećavanje proizvodnje često se naziva i ravnomernijim puštanjem bušotine u proizvodnju.
U nekim buštinama struja tečnosti me iznosi sav pijesak na površinu.
U cilju sprečavanja taloženja pijeska u periodu njegovog najvećeg priticanja iz sloja vrši se upumpavanje
nafte u međuprostor bez zaustavljanja proizvodnje.Upumpavanje nafte vrši se pokretnim pumpnim
agregatom.

BORBA SA PARAFINOM

Parafin se taloži u gornjem dijelu tubinga. čišćenje tubinga od parafina vrši se pomoću čistača.

Na slici 2 prikazana je šema čišćenja tubinga od parafina pomoću čistača koji je konstruisao M. A.

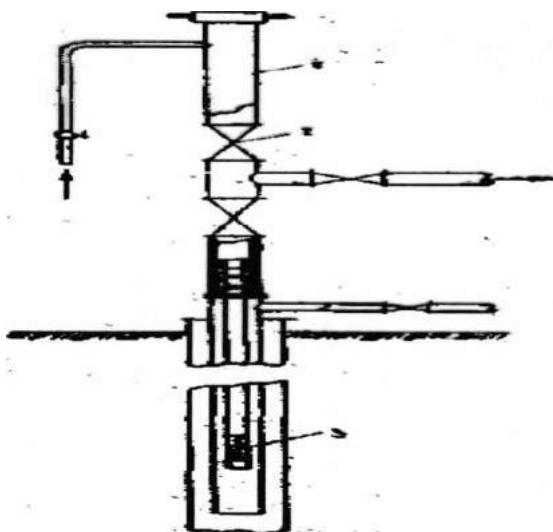
Ajrapetjan.Čistač sam po sebi predstavlja cilindar, koji je izrađen od tvrdog drveta dužine 300 mm: Da se
ne bi deformisalo drvo je prokuhan u ulju.

Prečnik čistača je za 2 do 5 mm manji od prečnika tubinga.

Spuštanje i podizanje čistača vrši se pomoću komprimiranog gasa.

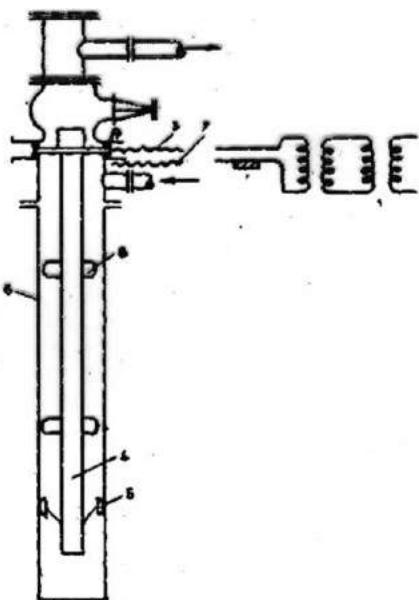
Nad ventilom 2 (sl.2) postavljena je kratka cijev 1 u koju se stavlja čistač. Na dnu tubinga nalazi se opruga-
amortizer 3, koja ublažava udarac i zadržava čistač.

Preporučuje se puštanje čistača u buštinu jedanput dnevno ili dvodnevno



Slika 2-Čistač parafina

Najprostiji, ali i neekonomičan metod je izvlačenje cijevi na površinu i čišćenje od parafina putem prođuvavanja parom.
 Čišćenje tubinga od parafina može se vršiti parom dobijenom iz agregata PPU-2 (pokretni parni kotao).
 Para se utiskuje između tubinga i lift kolone, vrši zagrijevanje tubinga i otapanje parafina.
 Deparafinizacija tubinga može se vršiti pomoću električne struje(slika 3).



Slika 3-Šema elektroparafizacionog uređaja

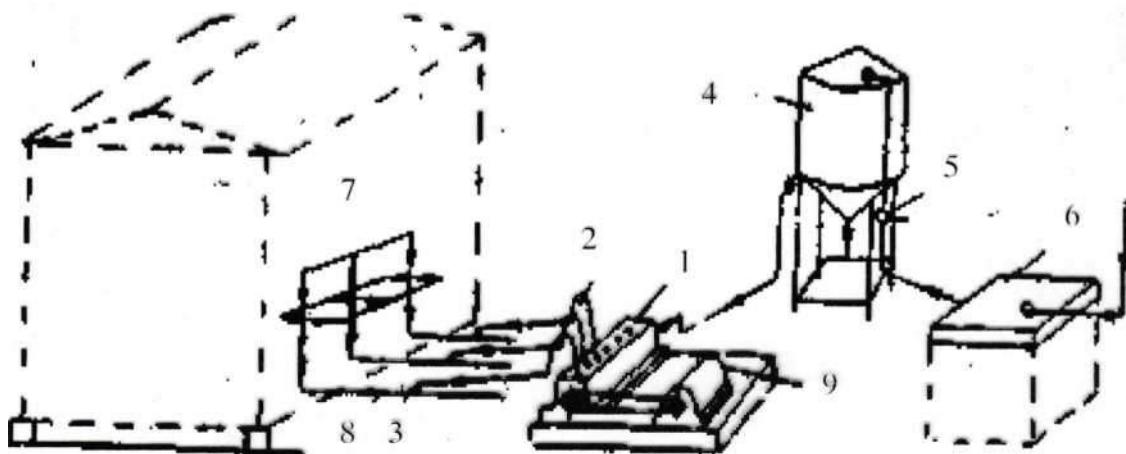
Uredaj se sastoji iz dva transformatora postavljenih na sankama. Transformator 1 snižava napon sa 6 000 na 440 V, a transformator 2 sa 440 na ~ 140 V. Ako je napon u mreži 440 V onda se prvi transformator ne uključuje u rad. Strujni tok koji topi parafin prolazi kroz mrežu, koja se sastoji iz provodnika 3, tubinga 4, kontakta 5, zaštitne kolone 6 i provodnika 7. Tubing se zagrijeva znatno više nego što se zagrijeva zaštitna kolona pošto se tubing u strujnom kolu pojavljuje kao otpornik najmanjeg presjeka.

Kod dvorednog lifta kontakt se postavlja između tubinga i lift kolone. Jačina struje kreće se do 800A

Sprečavanje stvaranja emulzije

Kada zajedno sa naftom iz sloja dolazi i voda stvara se doista postojana emulzija.
 Emulzirana nafta se odvojeno transportuje od čiste nafte. U specijalnim uređajima emulzija se razlaže na naftu i vodu.Jedna od efektivnih metoda protiv obrazovanja emulzije je primjena naftnog gasa u svojstvu radnog tijela.

Druga mjera je prelaz sa gasliftne eksploatacije na eksploataciju dubinskim pumpanjem.
 Dobri rezultati su dobiveni unutar-bušotinskom deemulgacijom (slika 4).
 Suština metode se sastoji u tome što se u prstenasti prostor, zajedno sa komprimiranim vazduhom, dodaje i tečni deemulgator koji sprečava obrazovanje emulzije.



Slika 4 Šema uređaja za unutar-bušotinsku deemulgaciju

Deemulgator se iz posude 6 pomoću pumpe 5 prepumpava u posudu 4 iz koje se, putem slobodnog pada, sliva u dozir pumpe 1. Elektromotorima 9 vrši se pokretanje dozir pumpi.

Svaka pumpa potiskuje deemulgator u potisni vod 2, koji je spojen sa cjevovodom 8.

Cjevovodi 8 se kreću od kolektora za raspodjelu gasa do bušotine. Kroz rasplinjač 3 vrši se miješanje gasa sa deemulgatorom.

Dozir pumpe se postavljaju u posebnom odjeljenju pored zgrade centra za raspodjelu gasa, dok se posude sa deemulgatorom postavljaju izvan zgrade.

Korozija cijevi i antikorozione mjere

Pri radu sa vazduhom stvara se talog na zidovima cijevi od kompresorske stanice do bušotine i u međuprostoru. Talog se sastoji od oksida gvožđa, pijeska, gipsa ili krečnjaka, nešto malo vode i nafte.

Talog, odnosno vлага, na svim dodirnim površinama cijevi izaziva koroziju.

Porastom radnog pritiska raste i količina taloga. Tokom vremena, korozioni otpaci odvajaju se od cijevi i sa vazduhom odlaze u bušotinu, gdje se sakupljaju na uskim mjestima (kod spojnica cevi) iii se talože na dnu bušotine. U nekom slučajevima koroziju cijevi može da izazove i sumporna kiselina koja se stvara kao proizvod uzajamnog dejstva sumpornih jedinjenja, koje daje bušotina sa kiseonikom utiskivanog vazduha. Najbolji način da se spreči dejstvo korozije je prelazak sa erlifta na gaslift.

Borba protiv korozije može da se vrši putem dehidracije komprimiranog vazduha ali zaštitom površine cijevi od korozije. Komprimirani vazduh se po izlasku iz kompresorske stanice hlađi a kondenzovana para se odvaja u separatoru. U cilju zaštite cevi od korozije vrši se premazivanje površine cijevi sa lakom.

Dobri rezultati postignuti su premazivanjem cijevi sa bezvodnom naftom (naftom, koja u procesu destilacije dalje dosta ulja).

Sprečavanje taloženja soli

Promjena temperature i pritiska u odnosu na sjojne uslove dovodi do ispadanja soli iz rastvora u bušotinama, koje sa naftom daju i znatne količine vode.

Soli se talože na zidovima cijevi, kroz koje prolazi nafta sa vodom.

Taloženje soli se viši najčešće u gornjim dijelovima tubinga na intervalu od 150 do 300 m od usta bušotine. Čišćenje cijevi od taloga soli vrši se na specijalnom postolju.

U cilju sprečavanja ispadanja soli iz rastvora, u prstenasti prostor bušotine, zajedno sa komprimiranim vazduhom, dodaje se natrijum heksarnetafosfat.

ZAVRŠEN DRUGI KOLOKVIJ UZ PITANJA SA VJEŽBI KOJE SU DOSTAVLJENE