Proračun ugradnje klipnog lifta u bušotini s povremenim plinskim podizanjem

Ćenanović, Jasmin

Master's thesis / Diplomski rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:016107

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij naftnog rudarstva

PRORAČUN UGRADNJE KLIPNOG LIFTA U BUŠOTINI S POVREMENIM PLINSKIM PODIZANJEM

Diplomski rad

Jasmin Ćenanović

N-203

Zagreb, 2019.

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Diplomski rad

PRORAČUN UGRADNJE KLIPNOG LIFTA U BUŠOTINI S POVREMENIM PLINSKIM PODIZANJEM

JASMIN ĆENANOVIĆ

Diplomski rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za naftno inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Energija ležišta kod eruptivnog načina podizanja fluida, dovoljno je velika da smjesu kapljevine i plina podiže s dna bušotine do njezina ušća, svladavajući pri tome hidrauličke otpore u uzlaznom nizu. Primjena klipnog lifta kao jedne od metode mehaničkog podizanja kapljevine koristi se u slučajevima kad se ležišni tlak smanji do te granice da se ne može produljiti eruptivni vijek bušotine. Klipni lift koristi se u bušotinama s malim indeksom proizvodnosti, relativno velikom dubinom, dovoljno visokim plinskim faktorom (GLR) za iznošenje stupca kapljevine na površinu i visokim statičkim tlakom. U ovome radu bit će prikazan princip rada i primjena metode klipnog lifta na plinskim i naftnim bušotinama, te proračun za dimenzioniranje klipnog lifta za bušotinu s povremenim plinskim podizanjem.

Ključne riječi: klipni lift, ležišni tlak, indeks proizvodnosti, plinski faktor (GLR)

Diplomski rad sadrži: 40 stranica, 28 slika, 4 tablice i 9 referenci.

Jezik izvornika: Hrvatski

Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb

Voditelj: Dr. sc. Vladislav Brkić, docent RGNF-a

Ocjenjivači: 1. Dr. sc. Vladislav Brkić, docent RGNF-a
2. Dr. sc. Borivoje Pašić, docent RGNF-a
3. Dr. sc. Lidia Hrnčević, izvanredna profesorica RGNF-a

Datum obrane: 17. svibnja 2019., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology
and Petroleum Engineering

Master's thesis

CALCULATION FOR INSTALLATION OF PLUNGER LIFT IN WELL WITH INTERMITTENT GAS LIFT

JASMIN ĆENANOVIĆ

Thesis completed at: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Department of Petroleum Engineering
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

The reservoir energy in eruptive fluid lifting is large enough for the liquid and gas mixture to rise from the bottom of the well to its surface, thus overcoming the hydraulic resistances in the ascending line. The use of the plunger lift as one of the methods of mechanical lifting of liquids is used in cases where reservoir pressure drops low enough so that the eruptive life of the well cannot be extended. The plunger lift is used in wells with a small productivity index, relatively high depth, high enough gas factor (GLR) to deliver liquid columns to the surface and high static pressure. This master's thesis will present the principle of operation and application of the plunger lift method on gas and oil wells, and the calculation for the dimensioning of the plunger lift for the well with intermittent gas lift.

Keywords: plunger lift, reservoir pressure, production index, gas factor (GLR)

Thesis contains: 40 pages, 28 figures, 4 tables and 9 references.

Original in: Croatian

Thesis deposited at: The Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Assistant Professor Vladislav Brkić, PhD

Reviewers: 1. Assistant Professor Vladislav Brkić, PhD
2. Assistant Professor Borivoje Pašić, PhD
3. Associate Professor Lidia Hrnčević, PhD

Date of defense: May 17, 2019, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb

SADRŽAJ

POPIS SLIKA I
POPIS TABLICA III
POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I PRIPADAJUĆIH SI JEDINICA IV
1. UVOD 1
2. PRINCIP RADA KLIPNOG LIFTA 2
2.1 Upotreba klipnog lifta 4
2.2 Struktura i brzina protjecanja 5
3. DIJELOVI KLIPNOG LIFTA 8
3.1 Lubrikator 9
3.2 Ručni hvatač klipa 9
3.3 Magnetski davač impulsa 10
3.4 Kontrolni uređaj na površini 11
3.5 Klip 13
3.6 Donji amortizer 15
3.7 Donji zaustavljač 16
4. PRIMJENA KLIPNOG LIFTA 17
4.1 Primjena klipnog lifta na naftnim bušotinama 17
4.1.1 Klipni lift s povremenim plin-lift ventilom u bušotinama s niskim tlakom na dnu i visokim ili niskim indeksom proizvodnosti 18
4.1.2 Klipni lift s plin-lift ventilima u bušotinama s visokim tlakom na dnu i niskim indeksom proizvodnosti 20
4.1.3 Klipni lift s dvostrukom kolonom uzlaznih cijevi 21
4.2 Primjena klipnog lifta na plinskim bušotinama 22
5. METODE PRORAČUNA KLIPNOG LIFTA 24
5.1 Metoda Foss i Gaul-a 24
5.2 Metoda najmanjih kvadrata 28
6. PRORAČUN KLIPNOG LIFTA ZA BUŠOTINU POZNATIH PARAMETARA 29
6.1 Proračun indikatorske krivulje za bušotinu X 29
6.2 Proračun klipnog lifta po metodi i krivuljama Foss i Gaul-a 32
6.3 Usporedba dobivenih podataka s proizvodnim podacima rada bušotine pomoću povremenog plinskog lifta 38
7. ZAKLJUČAK 39

8. LITERATURA 40

POPIS SLIKA

Slika 2-1. Ciklus rada klipnog (plunger) lifta……...……...3

Slika 2-2. Utjecaj težine kapljevine iznad klipa na proizvodnju……...……...4

Slika 2-3. Struktura dvofaznog protjecanja u bušotini……...…….6

Slika 2-4. Važnost brzine kretanja klipa na iznošenje kapljevine……..……..7

Slika 3-1. Prikaz bušotine opremljene za rad klipnim liftom……...8

Slika 3-2. Lubrikator……...……9

Slika 3-3. Magnetski davač impulsa……..10

Slika 3-4. Položaj Magnetskog davača impulsa na ušću bušotine……...……..10

Slika 3-5. Prikaz membranskog ventila……...……..11

Slika 3-6. Upravljački mehanizam……...…….12

Slika 3-7. Različiti tipovi konstrukcija klipa……...……..13

Slika 3-8. Donji amortizer udaraca klipa……...……15

Slika 3-9. Donji zaustavljač……...……...16

Slika 4-1. Shematski prikaz naftne bušotine s visokim GLR-om opremljene klipnim liftom……18

Slika 4-2. Shematski prikaz naftne bušotine opremljene klipnim liftom i plin-lift ventilom kod niskog tlaka na dnu i visokog ili niskog indeksa proizvodnosti……..19

Slika 4-3. Shematski prikaz naftne bušotine opremljene klipnim liftom i plin-lift ventilom kod visokog tlaka na dnu i niskog indeksa proizvodnosti…….……20

Slika 4-4. Shematski prikaz naftne bušotine opremljene klipnim liftom s dvostrukom kolonom uzlaznih cijevi……22

Slika 4-5. Shematski prikaz plinske bušotine opremljene klipnim liftom u cilju iznošenja kapljevine……...……..23

Slika 5-1. Foss Gaul-ove krivulje za ukupno davanje kod uzlaznih cijevi ϕ 60,3 mm i tlaka na ušću 4,2 bar……..……25

Slika 5-2. Foss Gaul-ove krivulje za davanje po ciklusu kod uzlaznih cijevi ϕ 60,3 mm i tlaka na ušću 4,2 bar……...……..….25

Slika 5-3. Foss Gaul-ove krivulje za ukupno davanje kod uzlaznih cijevi ϕ 60,3 mm i tlaka na ušću 14 bar……..……...…..26

Slika 5-4. Foss Gaul-ove krivulje za davanje po ciklusu kod uzlaznih cijevi ϕ 60,3 mm i tlaka na ušću 14 bar……...……....26

Slika 5-5. Dijagram pada tlaka tijekom ciklusa klipnog lifta……...…..27

Slika 5-6. Nomogram za 50,8 mm (2") klipni lift……...…...28

Slika 6-1. Indikatorska (IPR) krivulja bušotine X…….31

Slika 6-2. Prikaz očitanja tlaka prstenastog prostora promjenom proizvodnje kapljevine i vrijednosti opterećenja klipa kapljevinom po ciklusu……...……33

Slika 6-3. Prikaz indikatorske krivulje i očitanja vrijednosti dobave i srednjeg tlaka prstenastog prostora……..34

Slika 6-4. Prikaz očitanja potrebne količine plina po ciklusu……...….36

POPIS TABLICA

Tablica 6-1. Podaci potrebni za proračun i konstrukciju indikatorske krivulje bušotine X…29

Tablica 6-2. Proračun za indikatorsku krivulju bušotine X……...……....30

Tablica 6-3. Podaci bušotine X potrebni za proračun klipnog lifta po metodi Foss i Goul-a……..…….32

Tablica 6-4. Usporedba proračuna klipnog lifta za bušotinu X s podacima dosadašnje proizvodnje pomoću povremenog plinskog lifta……...38

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I PRIPADAJUĆIH SI JEDINICA

D_{tu} - unutarnji promjer uzlaznih cijevi, (mm)

D_{tv} - vanjski promjer uzlaznih cijevi, (mm)

D_{zc} - promjer proizvodne kolone, (mm)

GLR - plinski faktor – odnos plina i kapljevine, (m^3/m^3)

H - dubina bušotine, (m)

h - intervali u proizvodnji, (m)

J - indeks proizvodnosti, (m^3/dan/bar)

K - konstanta

n_c - potreban broj ciklusa na dan

n_c^{max} - maksimalni broj ciklusa na dan

P_c^{max} - maksimalni tlak na ušću prstenastog prostora, (bar)

P_c^{min} - minimalni tlak na ušću prstenastog prostora, (bar)

P_c^{sr} - srednji tlak na ušću prstenastog prostora, (bar)

P_d - dinamički tlak, (bar)

P_k - tlak uslijed težine stupca kapljevine, (bar)

P_{kl} - tlak uslijed težine klipa, (bar)

P_s - statički tlak, (bar)

P_{sr} - srednji tlak, (bar) (očitano)

P_{tr} - gubitak tlaka uslijed trenja tekućine o stijenke cijevi, (bar)

P_{tu} - tlak na ušću uzlaznih cijevi, (bar)

Q_g - proizvodnja plina, (m^3/dan)

q_g - potrebna količina plina po ciklusu, (m^3/ciklus)

Q_{gk} - potrebna količina plina za rad klipnog lifta, (m^3/dan)

Q_k - davanje bušotine, (m^3/dan)

q_k - dobava po ciklusu, (m^3/ciklus)

Q_k^{max} - maksimalno davanje bušotine, (m^3/dan)

$Q_{kž}$ - željeno davanje bušotine (m^3/dan)

Q_n - proizvodnja nafte, (m^3/dan)

t_c - vrijeme trajanja jednog ciklusa klipnog lifta, (min)

T_{sl} - temperatura na dnu, (°C)

W - udio vode u kapljevini, (%)

1. UVOD

Nakon prestanka eruptivne proizvodnje bušotine, za podizanje fluida na površinu se koristi neki od mehaničkih načina podizanja fluida u koje spada i metoda klipnog lifta. Klipni lift je globalno prihvaćena metoda mehaničkog podizanja kapljevine, te s ekonomskog stajališta alternativna zamjena ostalim mehaničkim metodama, posebno u bušotinama sa visokim plinskim faktorom (*eng. Gas Liquid Ratio*). Na bušotinama koje proizvode režimom otopljenog plina, odnosno bušotine koje karakterizira nagli porast GLR-a uz istovremeni pad indeksa proizvodnosti, djelotvornost proizvodnje može se poboljšati primjenom klipnog lifta. Svrha klipa je podignuti kapljevinu s dna bušotine do površine kako bi se omogućila depresija na ležište (Beauregard i Ferguson, 1982).

Proizvodnja klipnim liftom je moguća kada se raspolaže dovoljnom količinom plina i dovoljno visokim tlakom za podizanje akumulirane kapljevine. Upotrebom klipa brzina plina može biti i vrlo niska, jer klip predstavlja barijeru između plinske i tekuće faze koja se iznosi na površinu, te se u tu svrhu za iznošenje kapljevine može primjenjivati energija samog ležišta (Lake, 2007).

Bušotine s malim indeksom proizvodnosti, dovoljno visokim plinskim faktorom, visokim statičkim tlakom na dnu, relativno velikom dubinom, te proizvodne mogućnosti naftnog polja, daju mogućnost ugradnje klipnog lifta. Optimiziranjem sustava određuje se količina proizvedene kapljevine koja se ostvaruje uz maksimalnu djelotvornost, odnosno minimalne troškove materijala i energije. Prve studije provedene u svrhu primjene klipnog lifta kao mehaničke metode podizanja kapljevine, napravili su Foss i Gaul 1965. Za razvoj tih studija zaslužni su Morrow i Rogers koji su razmatrali vezu između zračnosti klipa i proizvodnog niza cijevi i brzine podizanja klipa. Dokazano je da manja zračnost klipa reducira propuštanje plina te u konačnici dovodi do povećanja proizvodnje, te da je optimalna brzina kretanja različitih klipova između 150 i 300 m/min (Lake, 2007).

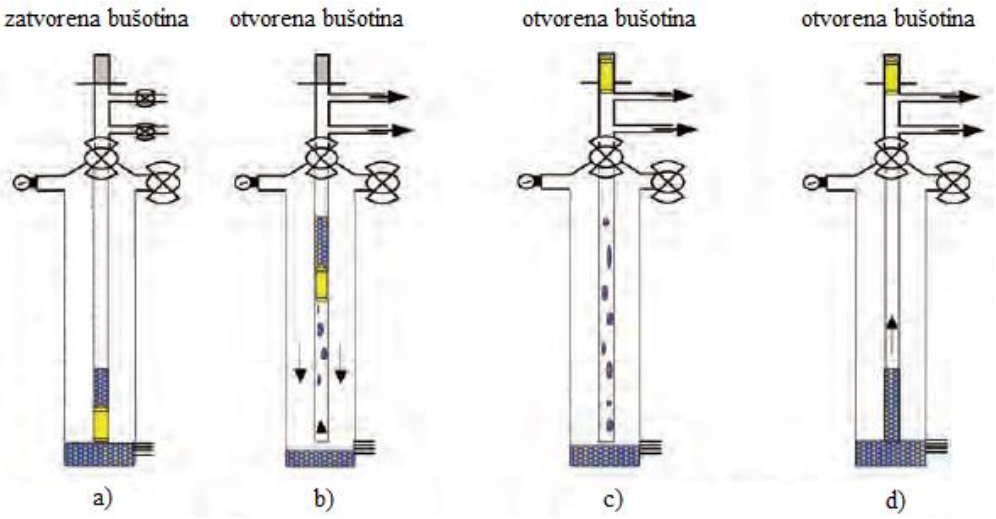
U današnje vrijeme klipni lift nalazi sve širu primjenu u svijetu kao rezultat pojave mikroprocesora i elektroničkih upravljača, čime je povećana njegova pouzdanost, te boljeg razumijevanja operativnog postupka. Tema diplomskog rada je opis metode klipnog lifta, njegova primjena na plinske i naftne bušotine, opis osnovnih dijelova klipnog lifta, te analiza i proračun primjene na jednoj od bušotina po metodi Foss i Gaul-a.

2. PRINCIP RADA KLIPNOG LIFTA

Klipni lift kao metoda mehaničkog podizanja kapljevine koristi klip koji se kreće proizvodnim nizom cijevi iznoseći tako kapljevinu s dna bušotine na površinu koristeći minimalnu energiju sadržanu u tlaku plina. Metoda smanjuje zaostajanje kapljevine i njezino klizanje, te iznosi kapljevinu učinkovitije nego što je to slučaj kod čepolikog ili mjehurićastog protjecanja kod klasičnog plinskog lifta. Proizvodnja se odvija pri minimalnom tlaku na dnu bušotine, što povećava učinkovitost u odnosu na druge metode.

Klip korišten kod ove metode izrađen je od čelika, te takav pušten sa vrha proizvodnog niza pada svojom težinom na dno. Tijelo klipa napravljeno je tako da omogućava dobro brtvljenje između kapljevine i plina, te kada tlak plina akumuliranog ispod klipa poraste uslijed pritoka plina i kapljevine iz ležišta, klip se počinje kretati prema površini energijom ležišta. Kod bušotina gdje se proizvodi bez klipa brzina strujanja plina mora biti znatno veća kako bi za sobom povukla kapljevinu akumuliranu na dnu, dok je ta brzina u slučaju proizvodnje klipnim liftom znatno manja. Stoga se može zaključiti kako je klipni lift ekonomična metoda pošto ne zahtjeva puno opreme te koristi tlak na dnu bušotine kao pogonsku energiju sustava.

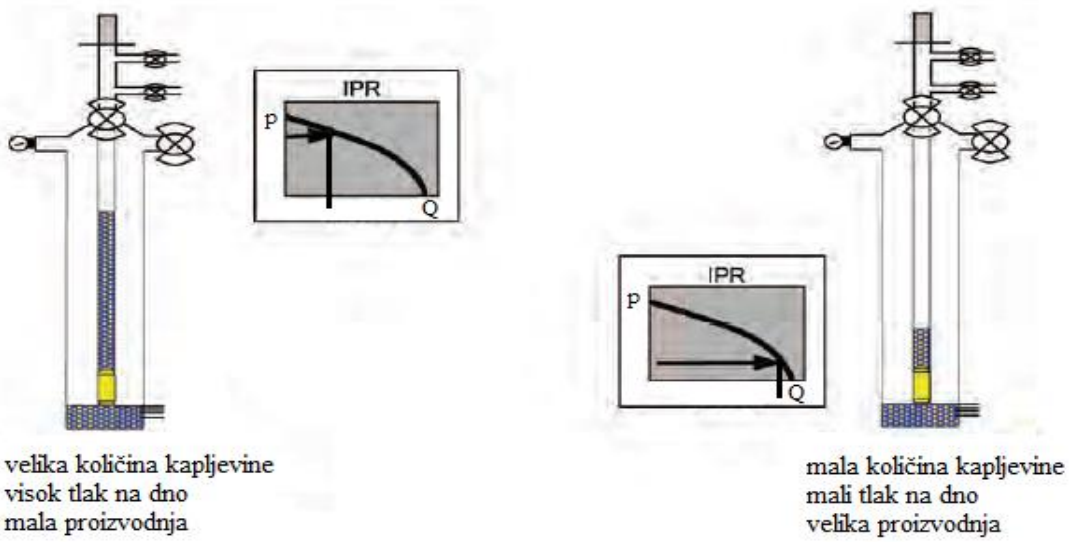
Privremenim zatvaranjem bušotine kada klip pada s ušća bušotine na dno bušotine, započinje ciklus klipnog lifta kao što je prikazano na slici 2-1. Za to vrijeme u bušotini se povećava tlak plina koji se akumulirao unutar zaštitnih cijevi (a). Bušotina ostaje zatvorena sve dok tlak ne dosegne razinu potrebnu za podizanje klipa i čepa kapljevine koji se nalazi iznad njega. Nakon dostizanja potrebne razine tlaka, bušotina se otvara te se ponovno uspostavlja protok i započinje podizanje kapljevine prema ušću (b). Po dolasku na ušće, kapljevita faza se odvaja, a klip ostaje zabravljen u hvataču klipa (lubrikatoru) (c). Sustav ostaje u ovoj poziciji sve dok se brzina strujanja plina ne spusti na kritičnu razinu uslijed čega se kapljevina počinje nakupljati unutar bušotine (d). Ponovnim zatvaranjem bušotine započinje ponavljanje cijeloga ciklusa.



Slika 2-1. Ciklus rada klipnog (plunger) lifta (Lake, 2007)

Neposredno prije otvaranja bušotine postiže se maksimalan tlak unutar zaštitnih cijevi, dok je je tlak u tubingu u tom trenutku manji od tlaka u zaštitnim cijevima. Kada se bušotina otvori, tlak iznad klipa koji se kreće prema ušću bušotine pada na vrijednost tlaka u priključnom cjevovodu, a tlak unutar zaštitnih cijevi i u tubingu ispod klipa se smanjuje do trenutka kada klip dosegne ušće bušotine. Maksimalnu proizvodnju dobit će se na način da se osigura najniži mogući tlak na dnu bušotine, pri tome vodeći računa o količini kapljevine koju se može iznijeti. U obzir se uzima i podatak da sila s gornje strane klipa ima suprotan smjer od sile s donje strane klipa, kao i utjecaj težine kapljevine iznad klipa na proizvodnju.

Na slici 2-2 prikazano je da pri većim obrocima kapljevine prema IPR krivulji ostvarena manja proizvodnja zbog većeg dinamičkog tlaka na dnu i manje depresije.



Slika 2-2. Utjecaj težine kapljevine iznad klipa na proizvodnju (Lake, 2007)

Smanjenje obroka kapljevine po ciklusu povećat će proizvodnju jer se smanjuje dinamički tlak na dnu bušotine, odnosno povećava depresija na sloj.

2.1 Upotreba klipnog lifta

U novije vrijeme napretkom industrije mikroprocesora i kontrolera, ova metoda postaje sve zastupljenija, što nije bilo moguće u prošlosti zbog nedostatka pouzdanosti mikroprocesora koji su detaljno pratili brzinu klipa, brtvljenje između kapljevine i plina, tlak u proizvodnom nizu kao i tlak na dnu, promjenjivost stope proizvodnje. Kontroleri danas, povezani s različitim osjetilima rade automatsko kalibriranje čim dođe do promjene nekog parametra ili nekog drugog problema s klipom, podržavajući time optimalnu količinu proizvodnje u svakom trenutku (Brown, 1980).

Osamdesetih godina prošlog stoljeća, mnoge terenske studije pokušale su omogućiti bolje razumijevanje djelovanja i rukovanja klipnim liftom. Jednu od prvih studija na temu klipnog lifta obradili su Beeson, Foos i Gaul. Metodu po principu Foos-a i Gaul-a će se kasnije obraditi u radu. Te prve studije temeljile su se na poveznici između brtvljenja proizvodnog niza cijevi i klipa, te brzine podizanja klipa, koja smanjuje klizanje plina oko klipa. Smanjenje klizanja plina omogućuje znatno učinkovitije djelovanje metode pri nižim tlakovima na dnu, što daje povećanje proizvodnje. Saznanja do kojih se došlo temeljem studija pokazala su da najučinkovitije brzine podizanja klipa za sve vrste klipova variraju u

rasponima od 150 do 300 metara/minuti, čime je ova metoda proizvodnje znatno napredovala i na temelju čega su se optimizirali ciklusi kretanja klipa u bušotini (Beauregard i Morrow, 1989).

Ovakav napredak omogućio je da se klipni lift počne upotrebljavati u većem rasponu uvjeta u bušotinama i za sve više vrsta bušotina, omogućavajući čak i korištenje klipa u bušotinama s ekstremno niskim tlakovima (< 7 bar), bušotinama s visokom proizvodnjom kapljevine, jako dubokim bušotinama (preko 5000 metara), te bušotinama malih promjera i onih u kojima su postavljeni pakeri (Teledyne Merla, 1979).

Sama učinkovitost sustava s klipnim podizanjem kapljevine uvelike ovisi o pravilnom rukovanju opremom, instalacijama u bušotini te učinkovitosti operatera sustava. Klipu se mora omogućiti slobodno kretanje s dna prema površini i natrag, kvalitetno iznošenje kapljevine do površine kao i proizvodnja plina s minimalnim ograničavanjem.

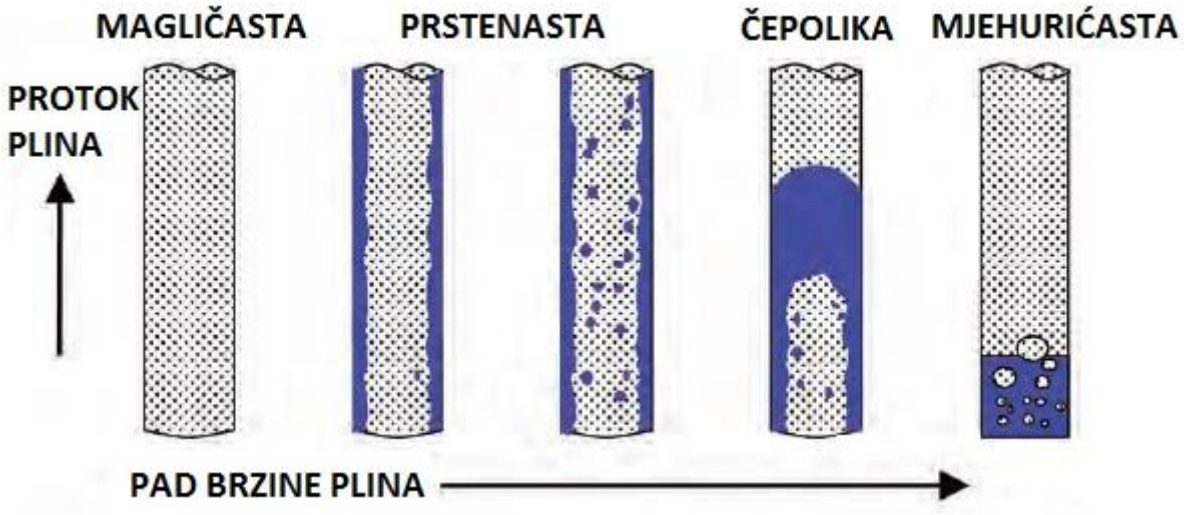
Velika odgovornost u radu sustava je na operatoru proizvodnje, pošto mora u potpunosti razumjeti princip rada klipnog lifta. Operator mora razumjeti mehaniku fluida i pritjecanje fluida iz ležišta u bušotinu pri određenim tlakovima u cijevima i tlaku u ležištu. Sve navedeno utječe na rad klipnog lifta, jer na temelju tih podataka operator izabire koji tip klipa će se koristiti, operativnu duljinu puta hoda klipa itd.

2.2 Struktura i brzina protjecanja

U početku proizvodnje plinske bušotine koja proizvodi s dotokom kapljevine ili naftne bušotine s visokim plinskim faktorom (GLR), brzina protjecanja plina je dovoljno velika da drži bušotinu čistom od kapljevine. U toj fazi proizvodnje, kapljevina se proizvodi kao magličasta forma koja je sadržana u struji plina. Visoka turbulencija i brzina protjecanja plina osigurava učinkovit mehanizam za podizanje kapljevine, dok bušotina proizvodi stalnim protokom. Kako se smanjuju tlakovi u ležištu i smanjuje brzina protoka, mijenja se mehanizam podizanja kapljevine.

Kapljevina se sve manje pojavljuje u obliku maglice i kapljice se počinju spajati na stijenkama proizvodne cijevi. U toj fazi kapljevina još uvijek ima tendenciju kretanja prema površini, ali nešto manje učinkovito nego u obliku maglice. Kako brzina protjecanja i dalje pada, učinak gravitacije na kapljevinu postaje više nego očit. Kapljevina na stijenkama cijevi, koja se kretala prema gore, počinje se zaustavljati, a plin prolazi kroz njezino središte.

Kada se dovoljno kapljevine zaustavi, formiraju se čepovi kapljevine koji sprječavaju protok plina, a bušotina započinje ciklički proces protoka fluida koje se obično naziva čepoliko protjecanje (slika 2-3).

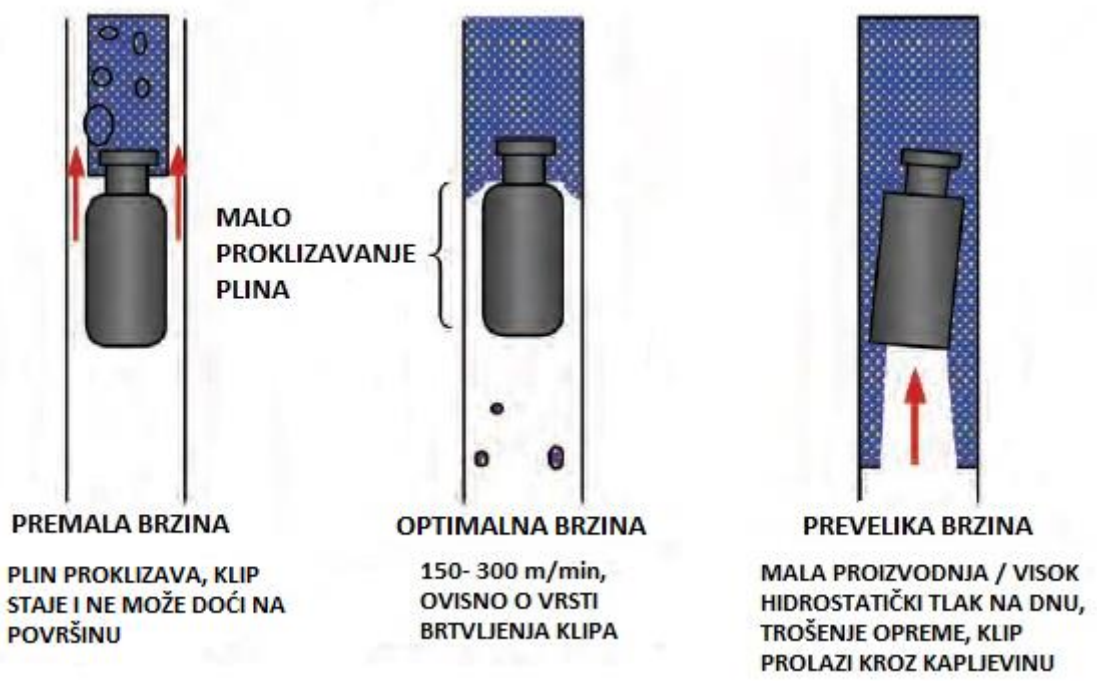


Slika 2-3. Struktura dvofaznog protjecanja u bušotini (Lake, 2007)

Kapljevina, koja se skuplja na stijenkama cijevi, povećava hidrostatički tlak (tlak koji se pojavljuje uslijed sile koja djeluje u smjeru suprotnom smjeru strujanja fluida), ograničava protok plina i dalje smanjuje brzinu plina. U kratkom vremenu, ležište bi moglo stvoriti dovoljan tlak plina ispod čepova kapljevine za premošćivanje hidrostatičkog tlaka i omogućava čepovima kretanje prema površini. Takav se plin širi, tako da jednim dijelom nosi tekućinu, a drugim kliže kroz nju.

Veći dio kapljevine iznosi se iz bušotine, dok u bušotini vlada protok pri većim brzinama zbog smanjenja hidrostatičkih tlakova. Na kraju, kapljevina koja je ostala u cijevi i nova kapljevina iz ležišta formiraju čepove i proces se ponavlja. Magličasto strujanje učinkovita je metoda uklanjanja kapljevine iz bušotine dok izmjenično strujanje čepova kapljevine i plina pridonosi smanjenju učinkovitosti te može dovesti do ozbiljnijih oštećenja opreme.

Razlog za ovu neučinkovitost je taj da plin teži prolasku kroz kapljevinu umjesto da je gura prema površini i van iz bušotine, osobito pri malim brzinama, što se vidi na primjeru s klipom na slici 2-4. Pri periodičnoj proizvodnji bušotine pravilo je da od 5 do 7 % kapljevine zaostaje na svakih 300 metara dubine, što na bušotini dubine 3000 metara može iznositi i do 70 % (Guo et al., 2007).



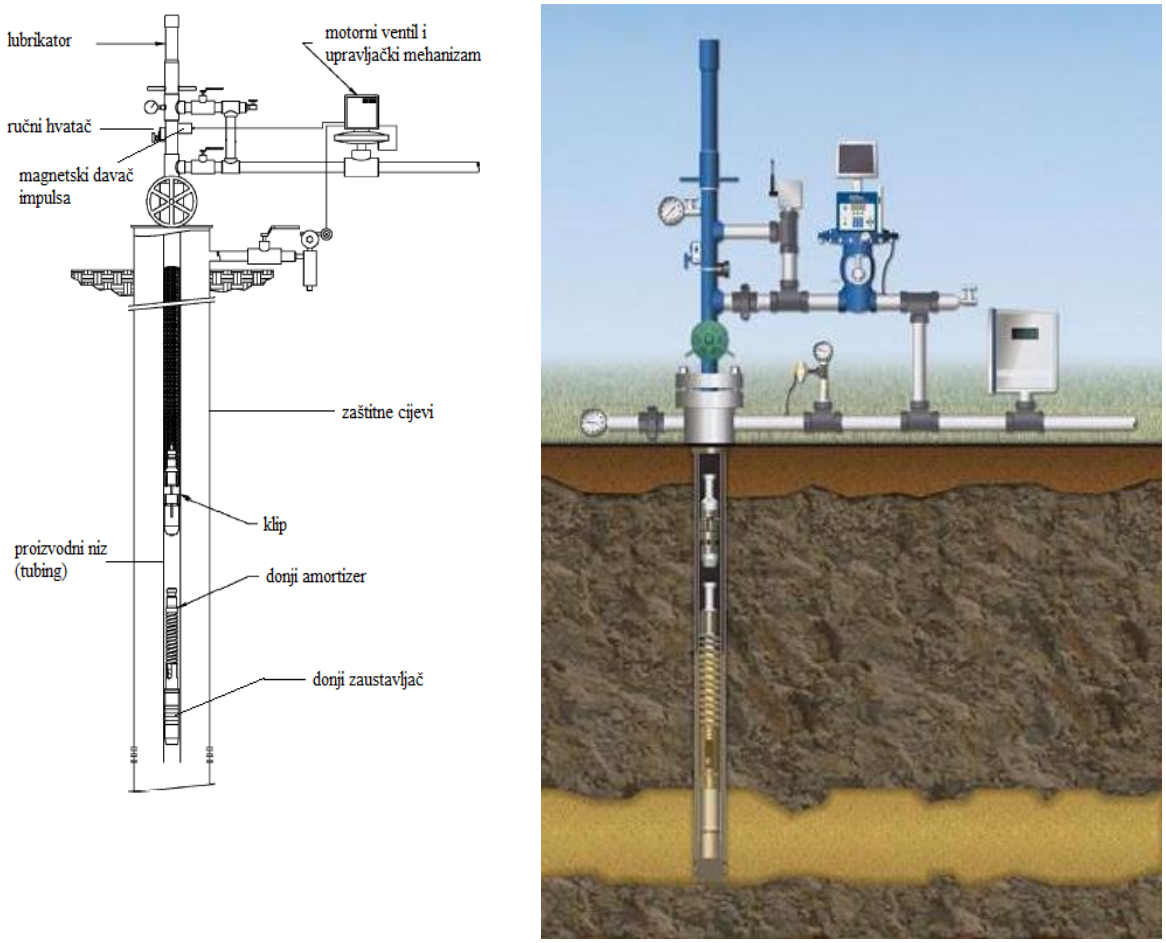
Slika 2-4. Važnost brzine kretanja klipa na iznošenje kapljevine (Lake, 2007)

Ovakvo proklizavanje kapljevine utječe na ležište na način da hidrostatički tlak ograničava proizvodnju plina. Ukoliko se ne započne s rješavanjem problema, kroz nekoliko tjedana ili mjeseci ležište će proizvoditi malim protokom ili može doći do kompletnog zastoja proizvodnje, ovisno o propusnosti ležišta, ležišnom tlaku i dotoku kapljevine.

3. DIJELOVI KLIPNOG LIFTA

Tipična konstrukcija klipnog lifta prikazana je na slici 3-1., a sastoji se od (od površine prema dnu):

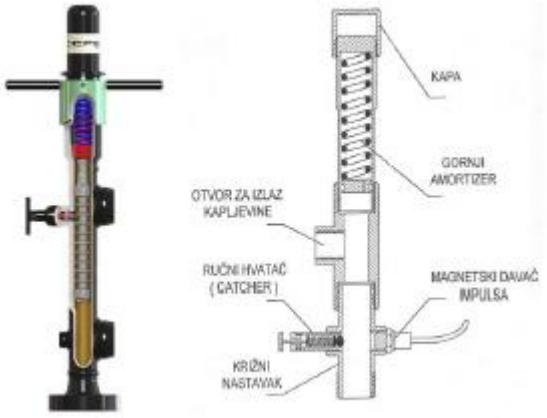
- lubrikatora s gornjim amortizerom;
- uređaja za kontrolu rada koji se sastoji od membranskog (motornog) ventila i upravljačkog mehanizma za regulaciju rada ventila;
- ručnog hvatača klipa;
- magnetskog davača impulsa;
- zaštitnih cijevi (*eng. casing*);
- uzlaznih cijevi (*eng. tubing*);
- klipa (*eng. plunger*);
- donjeg amortizera (*eng. bumper*);
- donjeg zaustavljača (*eng. stoper*);



Slika 3-1. Prikaz bušotine opremljene za rad klipnim liftom (Guo et al., 2007)

3.1 Lubrikator

Lubrikator je dio nadzemne opreme i služi za prihvat klipa na površini. Unutar metalnog kučišta nalazi se amortizer koji služi za ublažavanje udaraca, kao što je prikazano na slici 3-2. Vrlo je važno da unutarnji promjer lubrikatora odgovara promjerima bušotinske glave i tubinga, te njegova instalacija treba biti uspravna. U slučaju da lubrikator nije uspravan, uzlazna sila klipa će pokušati izravnati sklop, uzrokujući zamor i oštećenje metala.



Slika 3-2. Lubrikator (Tehnička dokumentacija INA d.d., 2015)

Postoje dvije izvedbe sustava lubrikatora. Kod sustava s klipom bez integralne šipke ventila, u kučištu lubrikatora nalazi se šipka za otvaranje protupovratnog ventila. Druga izvedba sastoji se od klipa sa šipkom ventila, te je lubrikator opremljen samo oprugom. Iznad glavnog zasuna odnosno ispod lubrikatora, najčešće se ugrađuje specijalni križni nastavak u koji se ugrađuju magnetski davač impulsa i ručni hvatač klipa, za jednostavan pristup klipu kod inspekcije. Lubrikator se može koristiti za različite promjere klipova i bušotinskih glava, tako da se zamjene donji prijelazi.

3.2 Ručni hvatač klipa

Ručni hvatač služi za hvatanje klipa pri dolasku na površinu, a radi pomoću kugle na koju se djeluje ručno pritiskom opruge. Prilikom okretanja ručice suprotno od smjera kazaljke na satu, ona se može potpuno izvući iz tijela hvatača, što na kuglu oslobađa tlak izazvan oprugom i klip može slobodno prolaziti kroz lubrikator. U slučaju kada je kugla pritisnuta tako da ne dodiruje klip, on se može slobodno kretati pokraj hvatača i pasti pod djelovanjem vlastite težine iz lubrikatora. Dolaskom klipa u gornji položaj hvatač osigurava

prihvat klipa bez zatvaranja glavnog zasuna. Hvatač klipa ne spada pod obaveznu opremu, no primjenjuje se kod bušotina sa malim promjerom tubinga, jer manje dimenzije opreme povećavaju mogućnost oštećenja klipa.

3.3 Magnetski davač impulsa

Magnetski davač impulsa (slika 3-3 i 3-4) jednostavan je uređaj koji registrira izlazak klipa na površinu i smješten je ispod lubrikatora. Sastoji se od štapićastog magneta smještenog u kučište od magnetičnog materijala, ulaz plina je onemogućen jer je oko magneta namotana opruga koja ga stišće uz membranu, a magnet pliva u živi kako bi se trenje svelo na minimum. Prilikom dolaska klipa na površinu, privlačne sile između klipa i magneta uzrokuju stiskanje opruge, čime plin aktivira regulator odnosno motorni ventil.



Slika 3-3. Magnetski davač impulsa (Dover Artificial Lift - PCS Ferguson, 2019)

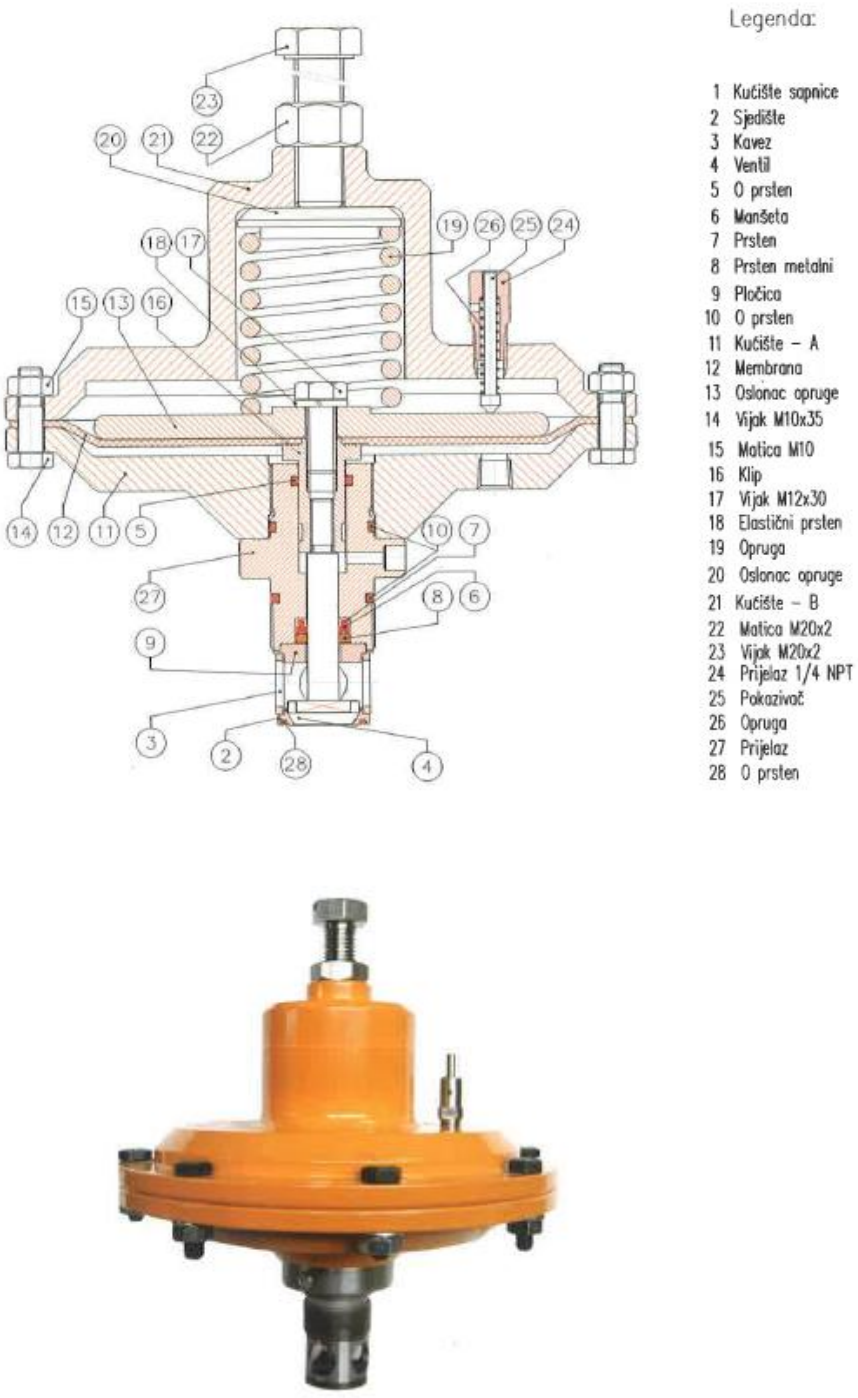


Slika 3-4. Položaj magnetskog davača impulsa na ušću bušotine (Tehnička dokumentacija INA d.d., 2015)

3.4 Kontrolni uređaj na površini

Uređaji za kontrolu rada klipnog lifta različitih su tipova i konstrukcija, no u osnovi sastoje se od:

- membranskog (motornog) ventila na odvodnom naftovodu (slika 3-5);



Slika 3-5. Prikaz membranskog ventila (Katalog opreme za plinsko podizanje nafte, 2009)

- upravljačkog mehanizma koji regulira rad membranskog ventila (slika 3-6).



Slika 3-6. Upravljački mehanizam (HY-BON/EDI, 2019)

Membranski ventil napaja se instrumentalnim plinom iz prstenastog prostora bušotine ili utisnog plinovoda, pod tlakom od 1,4 do 2,1 bar.

Regulacija rada motornog ventila vrši se na ove načine:

- tlačna regulacija;
- vremenska regulacija;
- elektronska regulacija.

Instrumenti koji rade na principu kontaktnog manometra, reagiraju na tlak tako da na tlak prstenastog prostora otvaraju, a na niži tlak zatvaraju membranski ventil. Za vrijeme kada je tlak u padu klip mora iznijeti stupac kapljevine na površinu. Ovakav tip regulacije predviđen je za velik broj radnih ciklusa, što veću proizvodnju kapljevine i što manju proizvodnju plina. Sukladno tome najbolji je za naftne bušotine kod kojih postoji veza između prstenastog prostora i tubinga.

Kod vremenske regulacije treba napomenuti da bi se ona trebala koristiti isključivo na plinskim i naftnim bušotinama sa vrlo visokim plinskim faktorom. Na instrumentu se postavljaju dvije vrijednosti vremena, prva je proračunom dobiveno vrijeme za iznošenje obroka kapljevine, a druga vrijeme između dva ciklusa.

Postoje i kombinacije ova dva načina regulacije, tako da jedan instrument kontrolira rad drugoga. Na površinu se postavlja manometar opremljen uređajem za bilježenje, koji

registrira tlakove u prstenastom prostoru i uzlaznim cijevima (tubingu) unutar 24 sata, što služi za praćenje i analizu rada klipnog lifta.

3.5 Klip

Svaki klip ima određene radne karakteristike bez obzira na tip rada. Potrebne karakteristike klipa su (Tehnička dokumentacija INA d.d., 2015):

- visoka otpornost materijala na trošenje i naprezanja;
- otpornost klipa na zaglavu unutar niza uzlaznih cijevi;
- visok stupanj ponavljanja radnog ciklusa ventila klipa;
- sposobnost klipa da brzo pada kroz kapljevinu i plin;
- dobro brtvljenje klipa sa stjenkama uzlaznog niza cijevi za vrijeme svog kretanja prema gore.

U svojoj osnovnoj verziji klip se sastoji od tijela, vrata za prihvat alatki na žici, brtvenog elementa i protu-povratnog ventila. Najčešće korišteni promjeri klipova su 50,8 i 63,5 mm (2'' i 2½''). Na slici 3-7 prikazane su različite izvedbe klipa.



Slika 3-7. Različiti tipovi konstrukcija klipa (Shaletec, 2019)

Neke od vrsta klipova su (Katalog opreme za plinsko podizanje nafte, 2009):

- klip s integriranom najlonskom četkom;
- klip bez pomičnih dijelova prilagođen uzlaznom nizu cijevi u kojima se nalazi pijesak;
- klip s integriranim podlogama koje se prilagođavaju uzlaznom nizu cijevi;
- klip izrađen od materijala prilagođenim za posebne uvijete u bušotini (kiseli plinovi);
- fleksibilni klipovi za primjenu u usmjerenim bušotinama.

Nakon što iznese stupac kapljevine na površinu, klip se treba vratiti na dno bušotine po novi obrok kapljevine, što zahtjeva da klip na svom putu prema dolje bude otvoren za prolaz kapljevine. To se postiže na nekoliko načina:

- Najčešće je unutar klipa ugrađen protu-povratni ventil, koji je tijekom puta prema gore zatvoren kako bi iznosio kapljevinu na površinu. Na površini ventil se otvara kako bi na svom putu prema dolje propuštao kapljevinu kroz koju prolazi. Nasjedanjem na donji zaustavljač (*eng. stoper*) ventil se ponovo zatvara. Protu-povratni ventil u klipu može biti s ili bez šipke. Ako se zahtijeva učestalo odvijanje ciklusa, potrebno je koristiti klip bez integralne šipke ventila, jer ima manji otpor pri padu. Klip sa šipkom ventila upotrebljava se za manju učestalost ciklusa.
- Kod klipa bez ventila, postoji mogućnost da se klip opremi sapnicom određenog promjera i tako postigne jednostavnija konstrukcija uz zadovoljavajuće radne karakteristike. Sapnicu se ugrađuje kako bi se spriječilo pretjerano prostrujavanje plina pri podizanju, te kako bi istovremeno klip dovoljnom brzinom došao na dno bušotine.

Brtvljene klipa može biti (Katalog opreme za plinsko podizanje nafte, 2009):

- ukoliko su raspoložive količine plina ograničene i zahtijeva se bolje brtvljenje sa stjenkama uzlaznog niza cijevi, tada se uobičajeno koristi klip sa samo-podesivim brtvenim elementom s krilcima (*eng. blade seal*);
- ako bušotina proizvodi velike količine plina u odnosu na proizvedenu kapljevinu koristit će se klip s utorima u tijelu ili turbulentnim brtvenim elementom;
- tijelo klipa može biti i glatko, no to je najlošiji način brtvljenja.

Prednost upotrebe klipa je ta da klip ima mogućnost uklanjanja pijeska, parafina, soli, kamenca i ostalih nečistoća koje mogu predstavljati problem pri proizvodnji.

3.6 Donji amortizer

Donji amortizer udaraca (*eng. bumper)* u bušotinu se ugrađuje na način da se pusti da slobodno pada, a izvlači se upotrebom alatki na žici. Sastoji se od nekoliko dijelova (slika 3-8) (Katalog opreme za plinsko podizanje nafte, 2009):

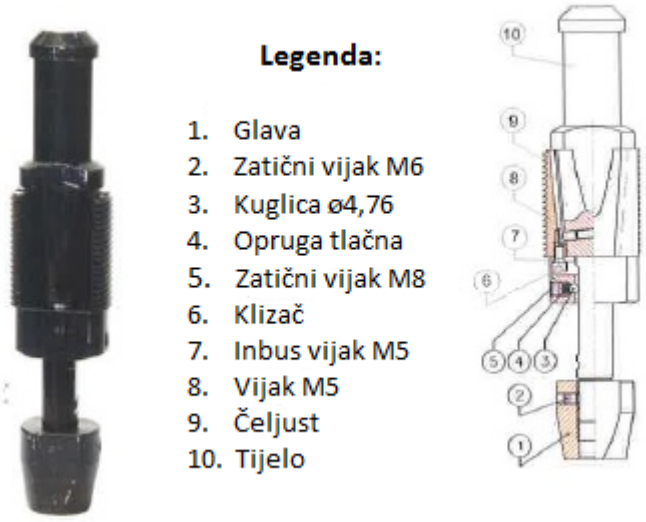
- opruge namotane oko šipke koja služi za ublažavanje udaraca klipa;
- šipke za zatezanje, vezane za vrat i držač, koja se sastoji od dva pomična dijela kao dvije vodilice;
- vrata za prihvat alatkama na žici u kojeg udara klip pri padu na dno, prilikom čega se zatvara njegov protu povratni ventil;
- držača koji nasjeda na vrat donjeg zaustavljača.



Slika 3-8. Donji amortizer udaraca klipa (Katalog opreme za plinsko podizanje nafte, 2009)

3.7 Donji zaustavljač

Donji zaustavljač (slika 3-9) ima zadatak zaustaviti klip prilikom njegovog dolaska na dno bušotine. Spuštanje i vađenje zaustavljača izvodi se konvencionalnim alatkama na žici, a odsjedanje se vrši u spojnicu između dvije uzlazne cijevi. Prilikom njegovog odsjedanja na željenoj dubini ulošci se šire i na taj način se zaustavljač učvrsti. Stoper osigurava veliku protočnu površinu te ga nije moguće izbaciti iz bušotine bez obzira kolika je brzina plina ili kapljevine koja struji kroz njega. Ukoliko klip pada na dno, a nema kapljevine iznad stopera, dolazi do vibracija koje pridonose kvarenju protu-povratnog ventila u klipu i bržem razbijanju samog zaustavljača i donjeg amortizera udaraca. Zbog navedenih vibracija preporuča se ugradnja stopera na dubini koja osigurava porast nivoa kapljevine za vrijeme ciklusa rada klipnog lifta, iznad njega, odnosno pada klipa po završetku ciklusa u stupac fluida (Katalog opreme za plinsko podizanje nafte, 2009).



Slika 3-9. Donji zaustavljač (Katalog opreme za plinsko podizanje nafte, 2009)

4. PRIMJENA KLIPNOG LIFTA

Kao što je ranije spomenuto, klipni lift se može upotrijebiti u bušotinama koje raspolažu dovoljnim količinama plina, ali i na onima gdje se potreban tlak za podizanje stupca fluida postiže utiskivanjem plina u bušotine koje prestaju eruptirati zbog smanjenja ležišnog tlaka ili zbog ne učinkovitog korištenja energije otopljenog plina.

4.1 Primjena klipnog lifta na naftnim bušotinama

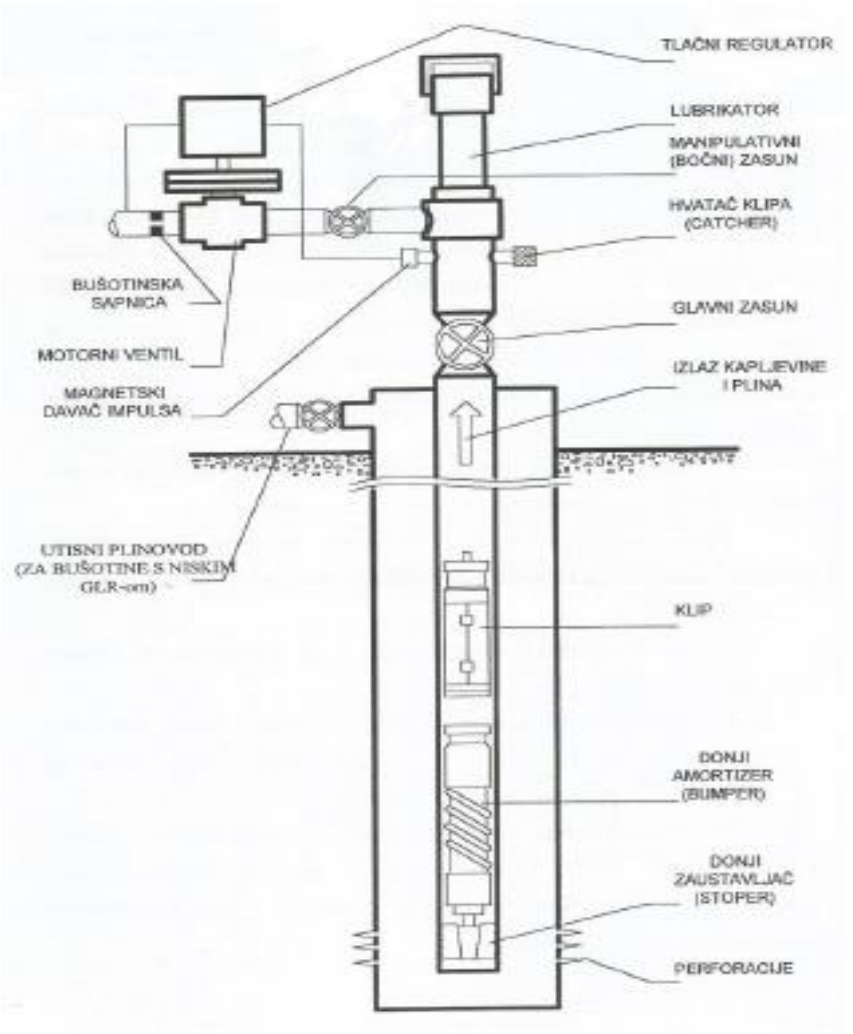
Rad klipnog lifta na naftnim bušotinama može se regulirati na dva načina: tlačnom (pneumatskom) i vremenskom regulacijom.

Pneumatski odnosno tlačni regulator, osigurava povećanje dnevnog broja ciklusa, smanjenje proizvodnje plina i povećanje proizvodnje kapljevine, te je najpogodniji za:

- naftne bušotine s visokim indeksom proizvodnosti. U slučaju da bušotina ima višak plina, treba ga kontinuirano ispuštati iz prstenastog prostora,
- naftne bušotine kod kojih nema viška plina za rad klipnog lifta.

Vremenski regulator se koristi u svim slučajevima naftnih i plinskih bušotina s vrlo visokim plinskim faktorom.

Shematski prikaz naftne bušotine opremljene klipnim liftom prikazan je na slici 4-1.



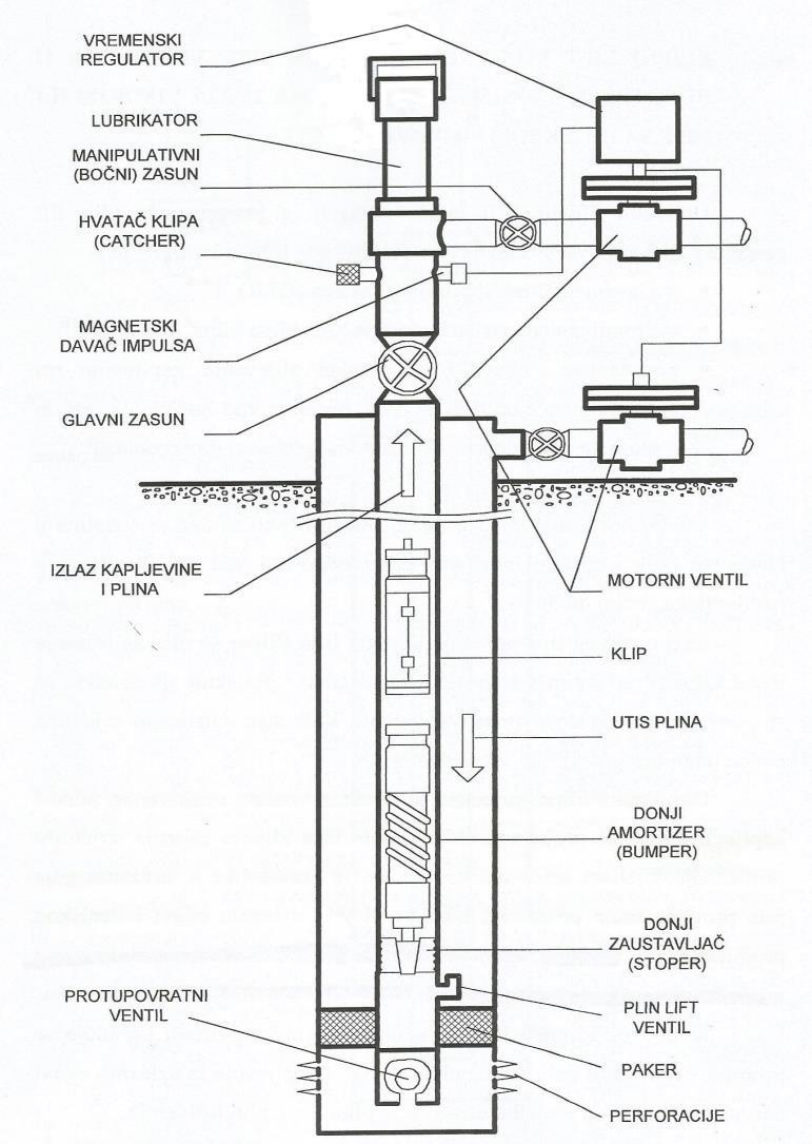
Slika 4-1. Shematski prikaz naftne bušotine s visokim GLR-om opremljene klipnim liftom (Tehnička dokumentacija INA d.d., 2015)

4.1.1 Klipni lift s povremenim plin-lift ventilom u bušotinama s niskim tlakom na dnu i visokim ili niskim indeksom proizvodnosti

Ugradnja klipnog lifta zajedno s povremenim plin-lift ventilom može imati sljedeće rezultate (Tehnička dokumentacija INA d.d., 2015):

- odstranjivanje naslaga parafina kretanjem klipa;
- snižavanje utisnog plinskog faktora (GLR);
- povećanje dobave i to kod bušotina s niskim tlakom na dnu i srednjim do visokim indeksom proizvodnosti.

Ako bušotina spada pod kategoriju s niskim indeksom proizvodnosti i već se iskorištava s padom tlaka većim od 50%, ne bi se trebalo očekivati povećanje dobave.



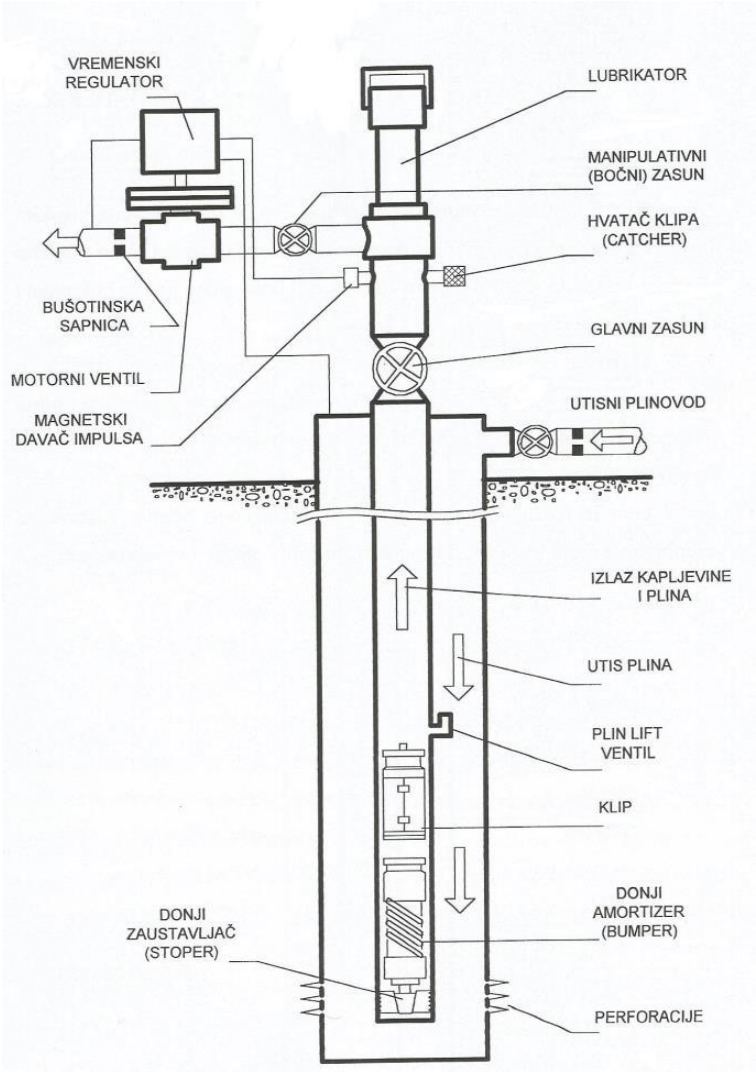
Slika 4-2. Shematski prikaz naftne bušotine opremljene klipnim liftom i plin-lift ventilom kod niskog tlaka na dnu i visokog ili niskog indeksa proizvodnosti (Tehnička dokumentacija INA d.d., 2015)

Kod ugradnje klipnog lifta plin se utiskuje ispod klipa u redovitim vremenskim razmacima, kako bi ga potisnuo na površinu zajedno sa stupcem kapljevine koja se nalazi iznad njega. Klip se vraća na dno kada tlak u uzlaznom nizu cijevi padne na minimum i postupak se ponavlja. U konstrukciji klipnog lifta kao što je prikazano na slici 4-2, gdje je klipni lift s pakerom i plin liftom potrebno je ugraditi protu-povratni ventil koji ne dozvoljava povrat kapljevine iz uzlaznog niza cijevi natrag prema sloju u trenutku utiskivanja plina kroz plin-lift ventil. Sprječavanje prostrujavanja plina kroz stupac kapljevine i svođenja povrata kapljevine na minimum čini ovu metodu jako djelotvornom.

4.1.2 Klipni lift s plin-lift ventilima u bušotinama s visokim tlakom na dnu i niskim indeksom proizvodnosti

Kod ovakve izvedbe klipnog lifta i plinskog lifta, utisnuti plin se dopunjava cijelo vrijeme u prstenasti prostor bušotine, dok povremeno otvaranje izlaza kapljevine i plina vrši vremenski regulator u kombinaciji sa magnetskim davačem impulsa koji zatvara regulator.

Na slici 4-3 prikazan je idealan plin lift uređaj za bušotinu koja ima vrlo visok indeks proizvodnosti i visoki tlak na dnu, te srednji do visoki plinski faktor.

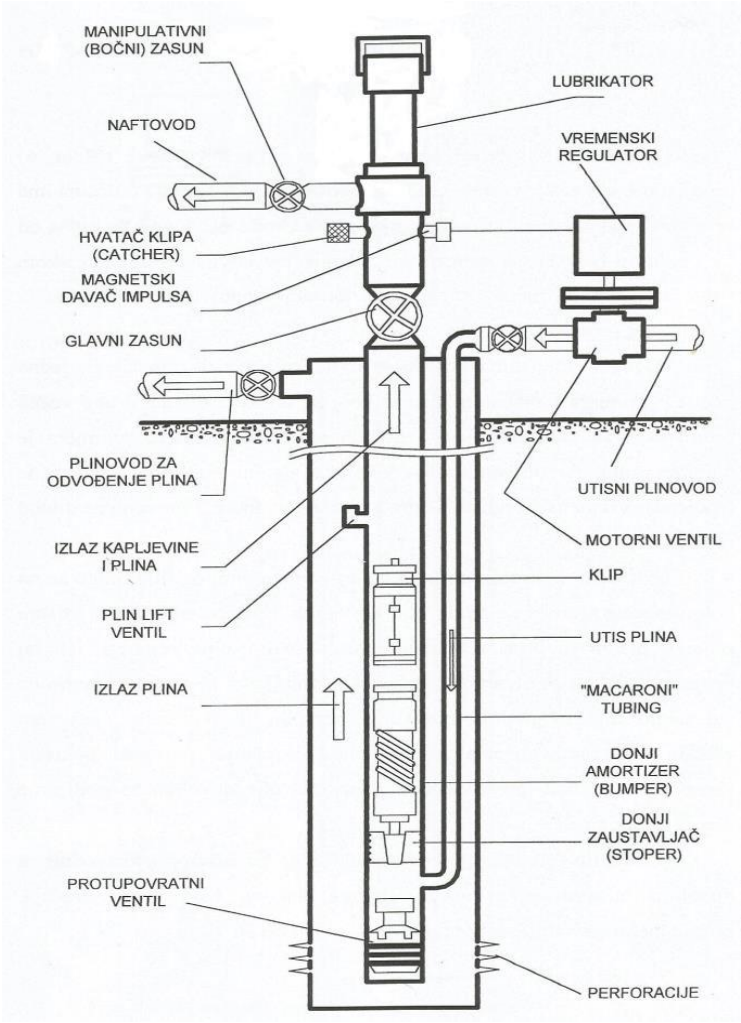


Slika 4-3. Shematski prikaz naftne bušotine opremljene klipnim liftom i plin-lift ventilom kod visokog tlaka na dnu i niskog indeksa proizvodnosti (Tehnička dokumentacija INA d.d, 2015)

4.1.3 Klipni lift s dvostrukom kolonom uzlaznih cijevi

Ova vrsta klipnog lifta (slika 4-4) primjenjuje se u slučajevima kada je potrebno postići podtlak na sloj ili tamo gdje bušotina ima vrlo visok indeks proizvodnosti i vrlo nizak tlak na dno. Kod navedenih uvjeta, u bušotini se porast razine kapljevine odvija pri atmosferskom tlaku ili tlaku koji je niži od njega, a sve to zahvaljujući kontinuiranom ispuštanju plina iz prstenastog prostora. U ovoj izvedbi klipnog lifta upotrebljavaju se dvije kolone uzlaznih cijevi, jedna manjeg promjera kroz koju se utiskuje plin i druga većeg promjera kroz koju se iznosi kapljevina. Na kolonu većeg promjera ugrađuje se protu-povratni ventil, a obje kolone su na dnu međusobno spojene. Vremenski regulator ugrađuje se na utisnom plinovodu za dovod plina.

Da bi se lakše pokrenuli uređaji klipnog lifta moguće je na kolonu većeg promjera ugraditi plin-lift ventil, a samo pokretanje se izvodi utiskivanjem plina u prstenasti prostor. Kada se bušotina rastereti, prstenasti prostor se otvara na izlazni plinovod kako bi se tlak smanjio na što manju vrijednost. Ovakva vrsta klipnog lifta može biti i bez plin-lift ventila no u tom slučaju kod samo ugušenja za ponovno pokretanje potreban je pokretni kompresor, jer tlak mreže utisnog plinovoda nije dovoljan za podizanje stupca kapljevine (Zelić, 1977).

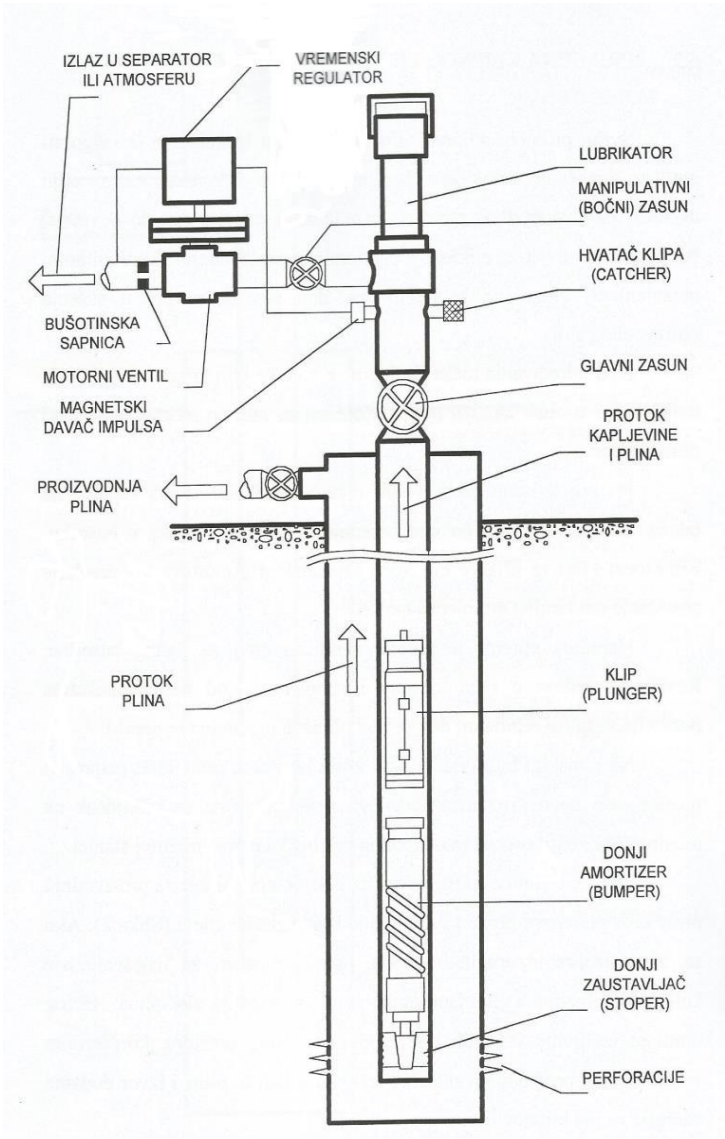


Slika 4-4. Shematski prikaz naftne bušotine opremljene klipnim liftom s dvostrukom kolonom uzlaznih cijevi (Tehnička dokumentacija INA d.d., 2015)

4.2 Primjena klipnog lifta na plinskim bušotinama

Primjena sustava klipnog lifta na plinskim bušotinama osigurava potpuno iznošenje kapljevine u cilju uspostavljanja slobodnog protoka kroz uzlazne cijevi, što je ujedno osnovni uvjet za učinkovitu i ekonomičnu proizvodnju plina (Tehnička dokumentacija INA d.d., 2015).

Identično kao i kod naftnih bušotina, klip predstavlja mehanizam čija je funkcija iznošenje nakupljene kapljevine, a takav proces se naziva „isušivanje“. Oprema za ovaj sustav ista je kao i na naftnim bušotinama, s tim da je razlika jedino u regulacijskom instrumentu. Kod naftnih bušotina koristi se tlačni instrument, a kod plinskih vremenski regulator što je prikazano na slici 4-5.



Slika 4-5. Shematski prikaz plinske bušotine opremljene klipnim liftom u cilju iznošenja kapljevine (Tehnička dokumentacija INA d.d., 2015)

5. METODE PRORAČUNA KLIPNOG LIFTA

Na temelju mnogobrojnih pokusa i mjerenja na velikom broju bušotina, mnogi autori su došli do određenih jednadžbi i dijagrama za analitičko i grafičko rješavanje problematike ugradnje sustava klipnog lifta u različite tipove bušotina.

Najpoznatije tri metode proračuna klipnog lifta su:

1) metoda Foss i Gaul-a;
2) metoda najmanjih kvadrata;
3) metoda po preporukama tvrtke Otis.

5.1 Metoda Foss i Gaul-a

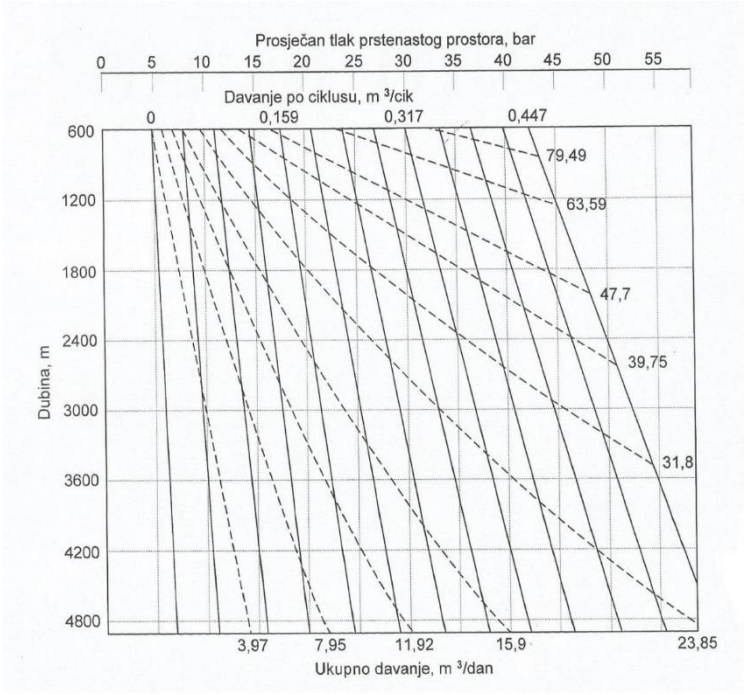
Metoda Foss i Gaul-a se temelji na sljedećoj empirijskoj formuli (Lake, 2007):

$$P_c^{sr} = \left(1 + \frac{P_c^{max} - P_c^{min}}{2}\right) x \left[P_{kl} + P_{tu}^{min} + (P_k + P_{tr}) x\, q_k\right] x \left(1 + \frac{H}{K}\right) \quad (5\text{-}1)$$

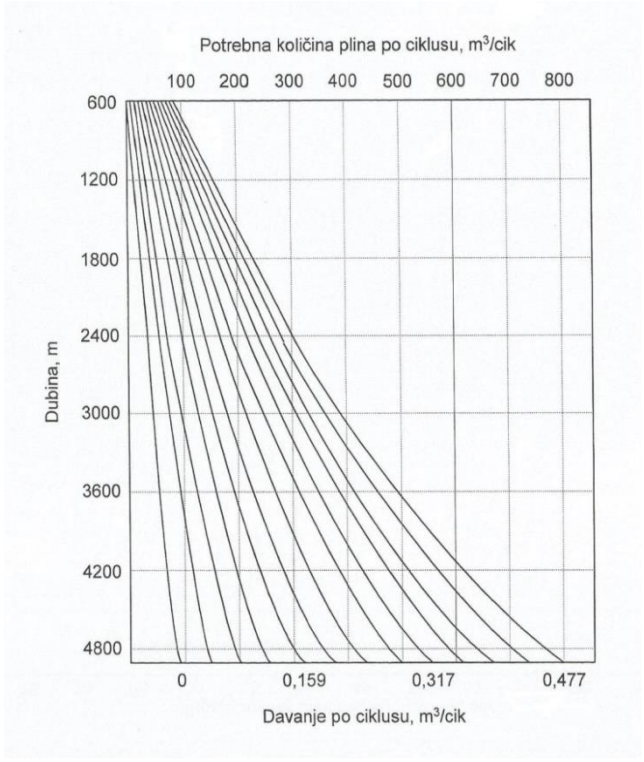
gdje su:

P_c^{sr} - srednji tlak na ušću prstenastog prostora, (bar)
P_c^{max} - maksimalni tlak na ušću prstenastog prostora, (bar)
P_c^{min} - minimalni tlak na ušću prstenastog prostora, (bar)
P_{kl} - tlak uslijed težine klipa, (bar)
P_{tu}^{min} - minimalni tlak na ušću uzlaznih cijevi, (bar)
P_k - tlak uslijed težine stupca kapljevine, (bar)
P_{tr} - gubitak tlaka uslijed trenja tekućine o stjenke cijevi, (bar)
q_k - dobava po ciklusu, (m^3/ciklus)
H - dubina bušotine, (m)
K - konstanta

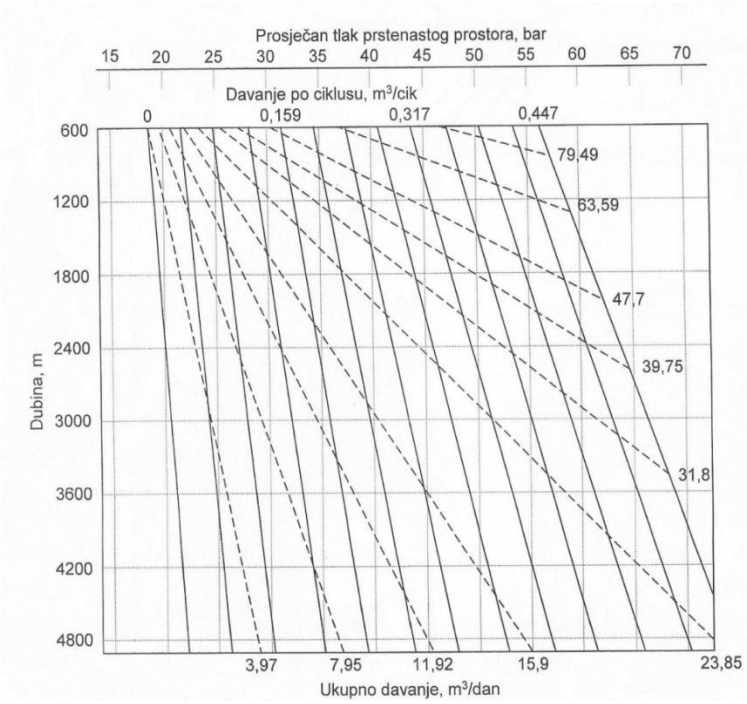
Na osnovi ove jednadžbe Foss i Gaul su izradili krivulje čija primjena znatno olakšava određivanje parametara klipnog lifta, a konstruirane su za tlak na ušću uzlaznog niza cijevi od 4,2 bar i promjera cijevi 60,3 mm (slike 5-1. i 5-2.), te za tlak ušća uzlaznog niza cijevi od 14 bar i promjera cijevi 60,3 mm (slike 5-3. i 5-4.), kao i dijagram pada tlaka tijekom ciklusa klipnog lifta (slika 5-5).



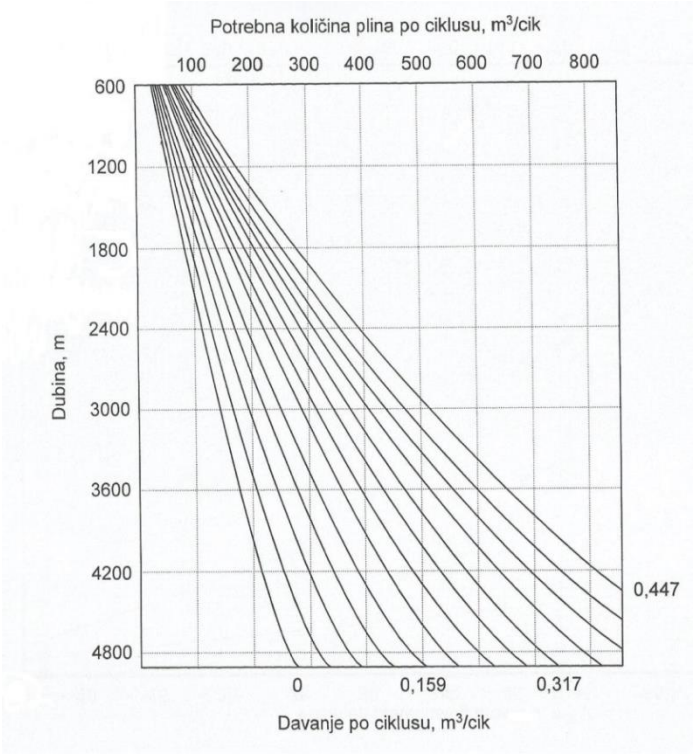
Slika 5-1. Foss Gaul-ove krivulje za ukupno davanje kod uzlaznih cijevi ϕ 60,3 mm i tlaka na ušću 4,2 bar (Teledyne Merla, 1979)



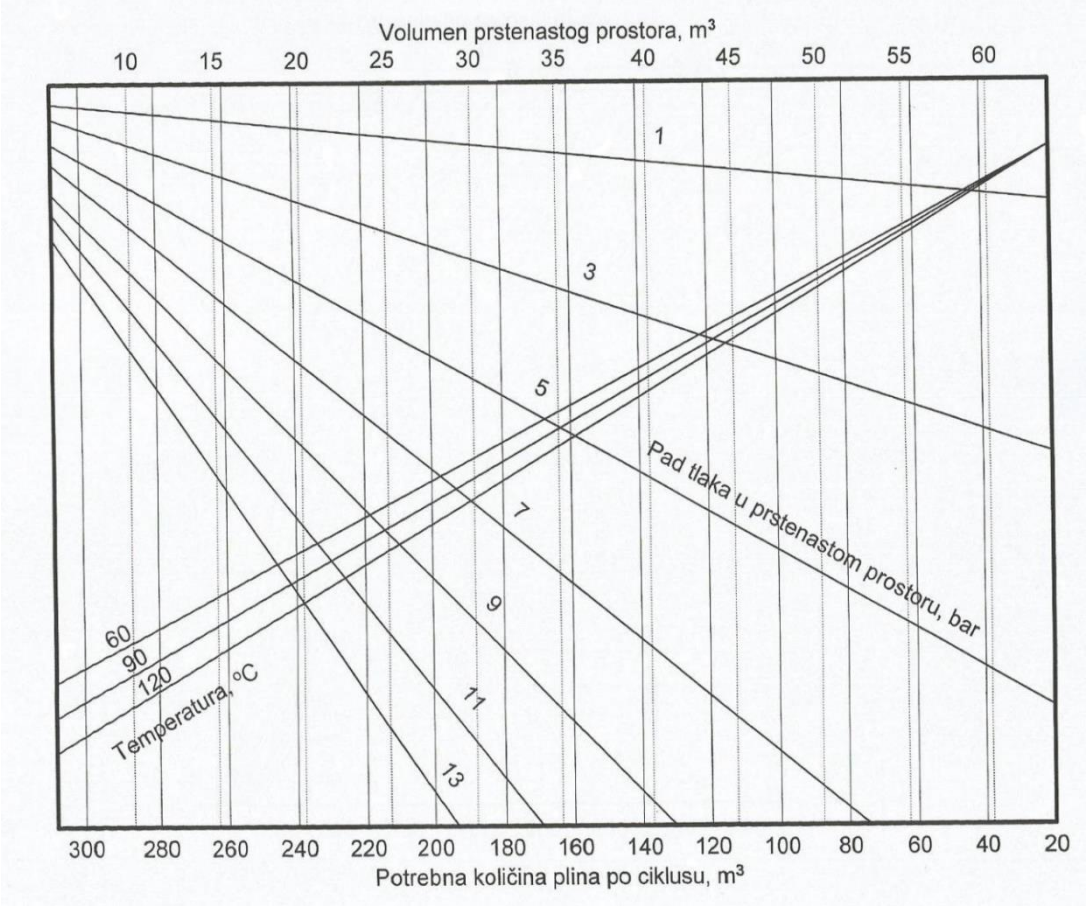
Slika 5-2. Foss Gaul-ove krivulje za davanje po ciklusu kod uzlaznih cijevi ϕ 60,3 mm i tlaka na ušću 4,2 bar (Teledyne Merla, 1979)



Slika 5-3. Foss Gaul-ove krivulje za ukupno davanje kod uzlaznih cijevi ϕ 60,3 mm i tlaka na ušću 14 bar (Teledyne Merla, 1979)



Slika 5-4. Foss Gaul-ove krivulje za davanje po ciklusu kod uzlaznih cijevi ϕ 60,3 mm i tlaka na ušću 14 bar (Teledyne Merla, 1979)



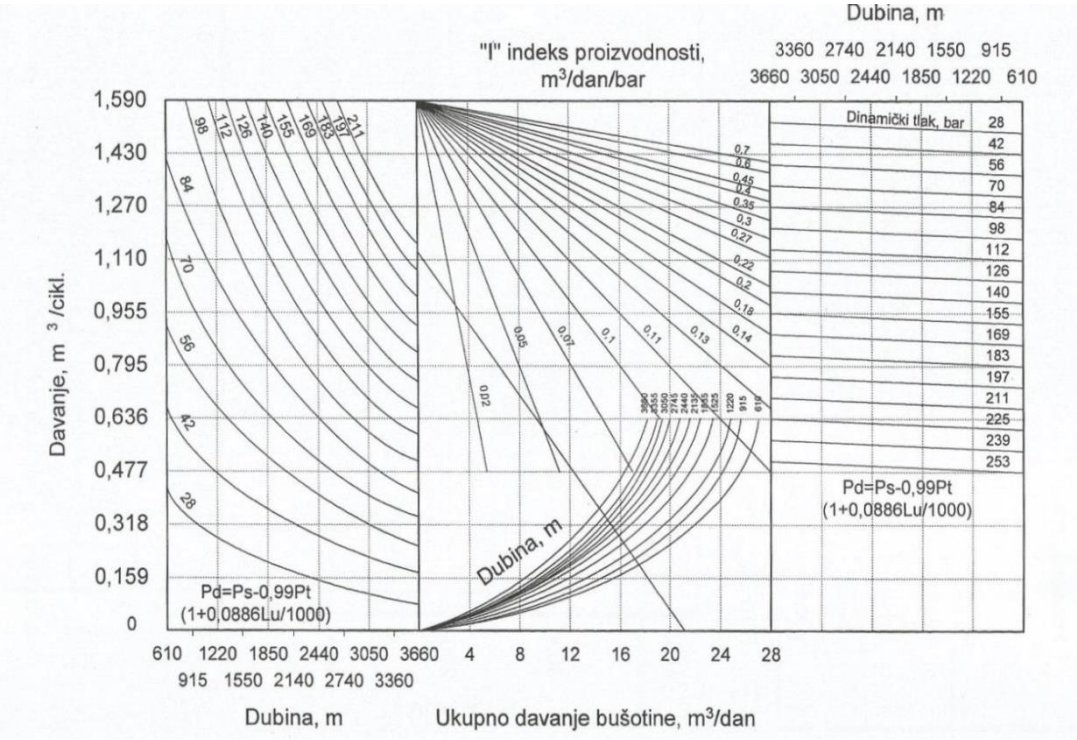
Slika 5-5. Dijagram pada tlaka tijekom ciklusa klipnog lifta (Teledyne Merla, 1979)

Autori ovih krivulja prilikom njihove izrade pretpostavili su slijedeće parametre (Lake, 2007):

- gustoća kapljevine 876,2 kg/m^3,
- tlak uslijed težine klipa 0,3 bar,
- temperatura u bušotini 65,6 ºC,
- dobava kapljevine je s 15 % udjela vode,
- brzina kretanja klipa je 305 m/min,
- odvodni naftovod je oslobođen većih ograničenja

5.2 Metoda najmanjih kvadrata

Ova metoda zasnovana je na rezultatima niza pokusa primjene klipnog lifta na naftnim poljima. Temeljem prikupljenih podataka na bušotinama s klipnim liftom, C.M. Beeson, J.H. Stoddard i D.G. Knox su primjenom ove metode izveli jednadžbe pomoću kojih su izradili nomograme karakteristične za rad klipnog lifta. Tipičan primjer takvog nomograma prikazan je na slici 5-6. Jednadžbe su karakterizirane srednjim vrijednostima pojedinih pokazatelja.



Slika 5-6. Nomogram za 50,8 mm (2") klipni lift (Teledyne Merla, 1979)

6. PRORAČUN KLIPNOG LIFTA ZA BUŠOTINU POZNATIH PARAMETARA

Da bi se utvrdilo kolika je maksimalna proizvodnja sustavom klipnog lifta i je li ostvariva kod postojećih uvjeta, potrebno je napraviti proračun na temelju IPR (*eng. Inflow Performance Relationship*) indikatorske krivulje. Vogel je izradio metodu za računanje indikatorskih krivulja bušotine koja daje naftu i plin, te će se ova metoda primijeniti za računanje indikatorske krivulje naftne bušotine X.

Za proračun indikatorske krivulje potrebno je poznavati slijedeće parametre: količinu davanja bušotine, statički tlak i pripadajući dinamički tlak na dnu bušotine. U tablici 6-1 prikazani su podaci potrebni za proračun indikatorske krivulje.

Tablica 6-1. Podaci potrebni za proračun i konstrukciju indikatorske krivulje bušotine X

Bušotina	X
Davanje bušotine, Q_k (m^3/dan)	2,67
Dinamički tlak, P_d (bar)	143,6
Statički tlak, P_s (bar)	160,1

6.1 Proračun indikatorske krivulje za bušotinu X

Kako bi se izradila indikatorska krivulja, na temelju poznatih podataka iz tablice 6-1, potrebno je odrediti maksimalno davanje bušotine prema jednadžbi (6-1).

$$\frac{Q_k}{Q_k^{max}} = 1 - 0{,}2\left(\frac{P_d}{P_s}\right) - \left(\frac{P_d}{P_s}\right)^2 \tag{6-1}$$

Gdje su:

Q_k – davanje bušotine, (m^3/dan)

Q_k^{max} – maksimalno davanje bušotine, (m^3/dan)

P_d – dinamički tlak (bar)

P_s – statički tlak (bar)

$$\frac{Q_k}{Q_k^{max}} = 1 - 0{,}2\left(\frac{143{,}6}{160{,}1}\right) - 0{,}8\left(\frac{143{,}6}{160{,}1}\right)^2 =$$

$$\frac{Q_k}{Q_k^{max}} = 1 - 0{,}2 * 0{,}8969 - 0{,}8 * 0{,}08045 =$$

$$\frac{Q_k}{Q_k^{max}} = 0{,}17702$$

$$Q_k^{max} = \frac{2{,}67}{0{,}17702} =$$

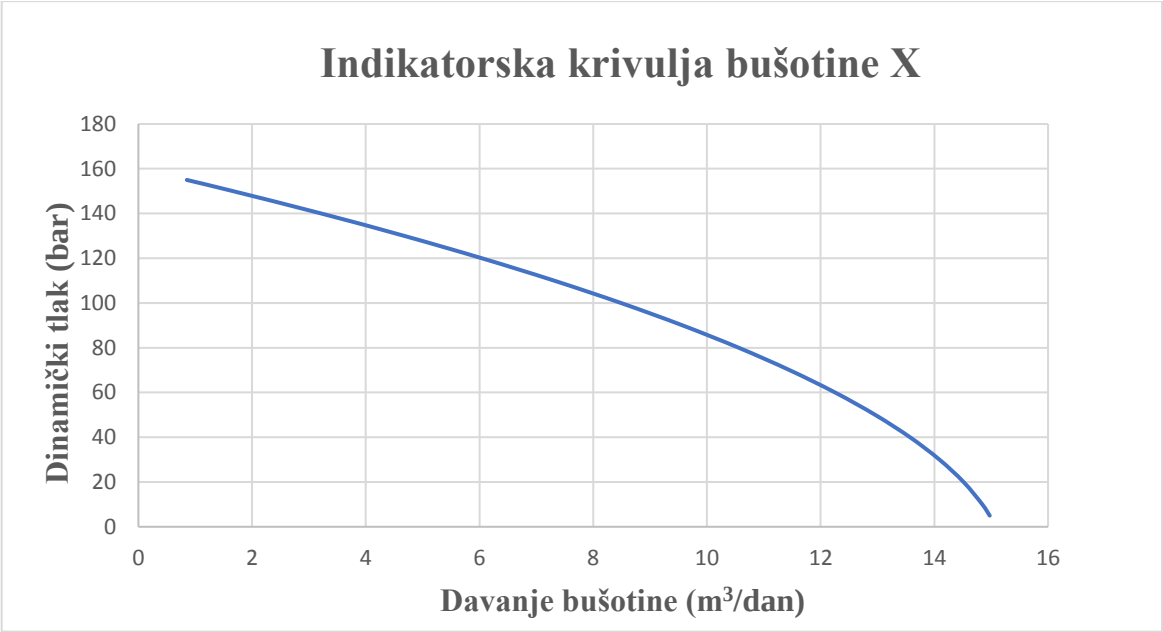
$$Q_k^{max} = 15{,}08\ m^3/dan$$

U tablici 6-2 napravljen je proračun davanja bušotine prema različitim vrijednostima dinamičkog tlaka.

Tablica 6-2. Proračun za indikatorsku krivulju bušotine X

$\mathbf{P_d}$ (bar)	$\mathbf{P_d/P_s}$	$\mathbf{0,2 * (P_d/P_s)}$	$\mathbf{(P_d - P_s)^2}$	$\mathbf{0,8 * (P_d/P_s)^2}$	$\mathbf{Q_k/Q_k^{max}}$	$\boldsymbol{Q_k}$ $\boldsymbol{(m^3/dan)}$
155	0,9681	0,193629	0,9373	0,7498	0,0565	0,852433
150	0,9369	0,187383	0,8778	0,7022	0,1104	1,664383
140	0,8745	0,174891	0,7647	0,6117	0,2134	3,217683
130	0,8120	0,162399	0,6593	0,5275	0,3101	4,676851
120	0,7495	0,149906	0,5618	0,4494	0,4007	6,041887
110	0,6871	0,137414	0,4721	0,3777	0,4849	7,312791
100	0,6246	0,124922	0,3901	0,3121	0,5630	8,489562
90	0,5621	0,112430	0,3160	0,2528	0,6348	9,572202
80	0,4997	0,099938	0,2497	0,1998	0,7003	10,560708
70	0,4372	0,087445	0,1912	0,1529	0,7596	11,455083
60	0,3748	0,074953	0,1404	0,1124	0,8127	12,255325
50	0,3123	0,062461	0,0975	0,0780	0,8595	12,961435
40	0,2498	0,049969	0,0624	0,0499	0,9001	13,573413
30	0,1874	0,037477	0,0351	0,0281	0,9344	14,091258
20	0,1249	0,024984	0,0156	0,0125	0,9625	14,514971
10	0,0625	0,012492	0,0039	0,0031	0,9844	14,844552
5	0,0312	0,006246	0,0010	0,0008	0,9930	14,974042
0	0,0000	0,000000	0,0000	0,0000	1,0000	15,080000

Proračun indikatorske krivulje, prikazane na slici 6-1., napravljen je pomoću proračunatih podataka prikazanih u tablici 6-2.



Slika 6-1. Indikatorska (IPR) krivulja bušotine X

Pomoću istih ulaznih parametara, izračunat je indeks proizvodnosti prema jednadžbi 6-2.

$$J = \frac{Q_k}{P_s - P_d} \tag{6-2}$$

Gdje su:

J – indeks proizvodnosti, (m^3/dan/bar)

Q_k – davanje bušotine, (m^3/dan)

P_d – dinamički tlak, (bar)

P_s – statički tlak, (bar)

$$J = \frac{2{,}67}{160{,}1 - 143{,}6} =$$

$$J = 0{,}16181\ m^3/dan/bar$$

Indeks proizvodnosti pokazuje da se za svako povećanje depresije od 1 bar, proizvodnja bušotine poveća za 0,16181 m^3/dan.

6.2 Proračun klipnog lifta po metodi i krivuljama Foss i Gaul-a

U tablici 6-3 nalaze se podaci bušotine X pomoću kojih se radi proračun klipnog lifta.

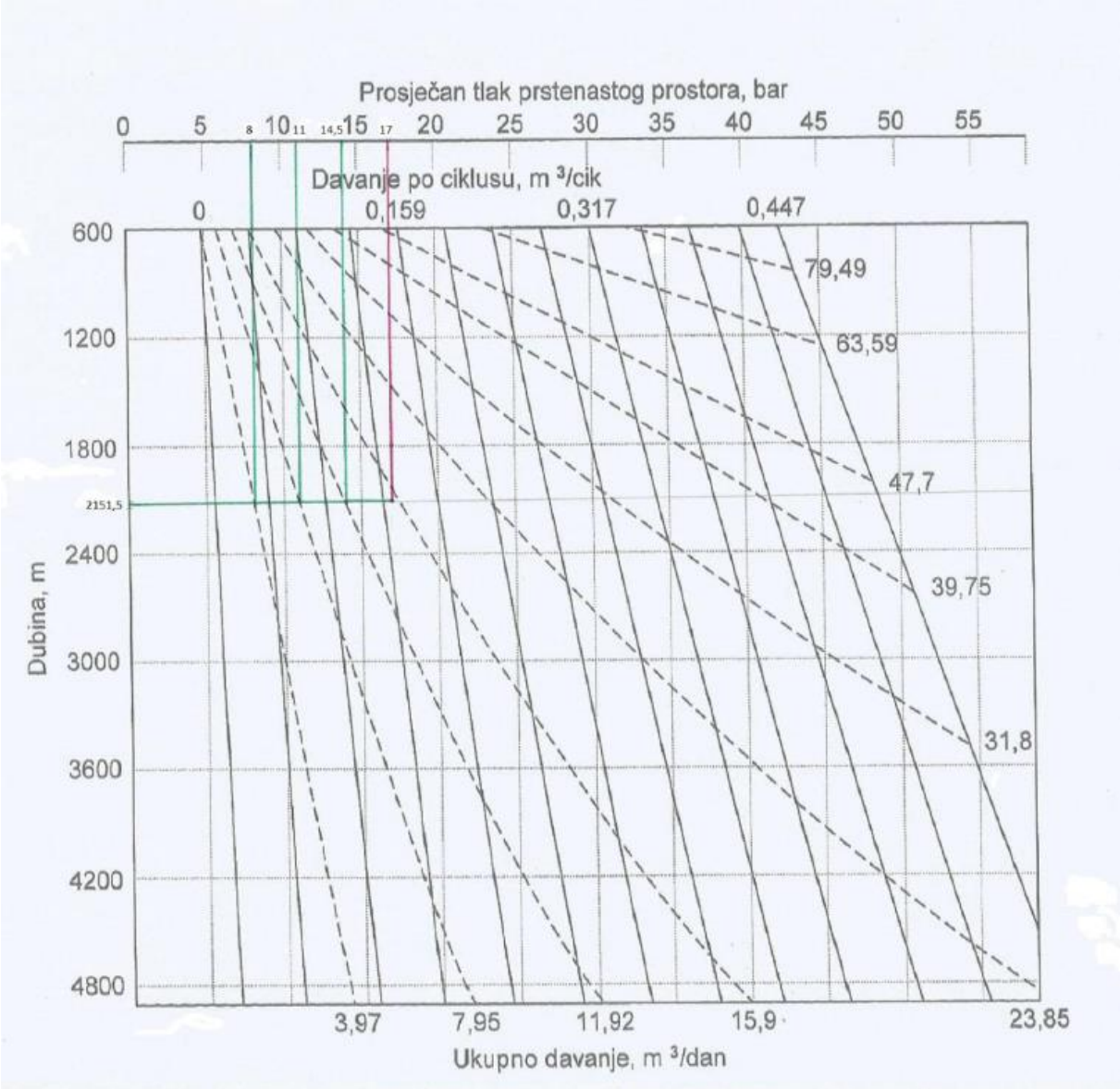
Tablica 6-3. Podaci bušotine X potrebni za proračun klipnog lifta po metodi Foss i Goul-a

Podaci bušotine	X
Dubina bušotine, H (m)	2151,5
Vanjski promjer proizvodne kolone, D_c (mm)	139,7
Vanjski promjer uzlaznih cijevi, D_{tv} (mm)	60,3
Unutarnji promjer uzlaznih cijevi, D_{tu} (mm)	50,6
Intervali u proizvodnji, h (m)	2151-2078
Davanje bušotine, Q_k (m^3/dan)	2,67
Proizvodnja plina, Q_g (m^3/dan)	43
Plinski faktor, GLR (m^3/m^3)	16
Udio vode u kapljevini, W (%)	60
Temperatura na dnu, T_{sl} (°C)	120
Statički tlak, P_s (bar)	160,1
Dinamički tlak, P_d (bar)	143,6
Tlak na ušću uzlaznih cijevi, P_{tu} (bar)	9

Redoslijed proračuna klipnog lifta ovom metodom je slijedeći:

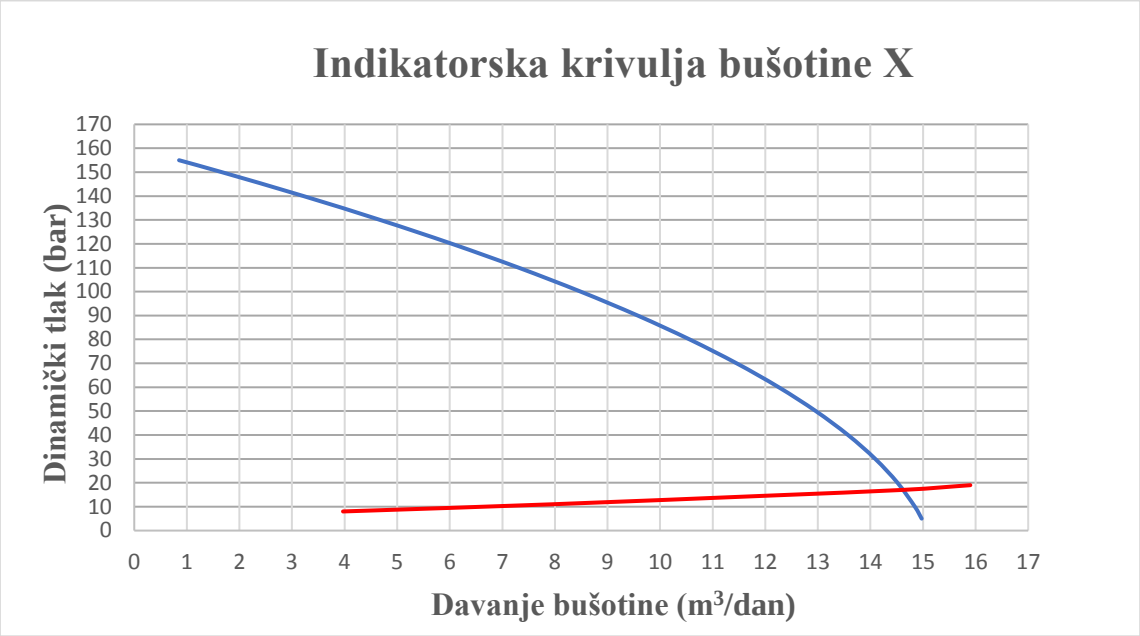
1. Odabrati dijagram za zadani promjer i tlak uzlaznih cijevi, podaci se očitavaju pomoću dubine bušotine i pretpostavljenim dobavama s grafa na slici 6-2. Zatim se na dijagram indikatorske krivulje nanose vrijednosti tlaka prstenastog prostora mijenjajući proizvodnju kapljevine.

Na krivuljama Foss i Gaul-a uračunat je utjecaj težine plina tako da se vrijednosti mogu direktno unositi na dijagram indikatorske krivulje.



Slika 6-2. Prikaz očitanja tlaka prstenastog prostora promjenom proizvodnje kapljevine i vrijednosti opterećenja klipa kapljevinom po ciklusu

2. Obilježene točke spajaju se pravcem koji siječe indikatorsku krivulju na jednom mjestu. Iz tog presjecišta lijevo i dolje očitavaju se vrijednosti davanja bušotine i srednjeg tlaka prstenastog prostora što se može vidjeti na slici 6-3.



Slika 6-3. Prikaz indikatorske krivulje i očitanja vrijednosti davanja bušotine i srednjeg tlaka prstenastog prostora

Očitano:

$$Q_{kž} = 14{,}6\ m^3/dan$$

$$P_{sr} = 17\ bar$$

3. Na odabranom dijagramu pod točkom 1, od presjecišta linije dubine i linije prosječnog tlaka prstenastog prostora dobivenog na indikatorskoj krivulji, očitava se odgovarajuća vrijednost dobave po ciklusu (slika 6-2).

$$q_k = 0{,}13\ m^3/ciklus$$

4. Proračunava se broj ciklusa na dan:

$$n_c = \frac{Q_{k\check{z}}}{q_k} \tag{6-3}$$

Gdje su:

n_c – potreban broj ciklusa na dan

$Q_{k\check{z}}$ – željeno davanje bušotine, (m^3/dan)

q_k – očitana vrijednost dobave po jednom ciklusu (m^3/ciklus)

$$n_c = \frac{14,6}{0,13}$$

$$n_c = 112,307\ ciklusa$$

Da bi klip mogao dovoljno brzo dizati i padati, broj ciklusa dobiven proračunom mora biti manji od maksimalnog broja ciklusa po danu.

5. Proračun vremena trajanja jednog ciklusa.

$$t_c = \frac{1440}{n_c} \tag{6-4}$$

$$t_c = \frac{1440}{112,307}$$

$$t_c = 12,822\ min$$

6. Maksimalan broj ciklusa po danu računa se po jednadžbi:

$$n_c^{max} = \frac{1440}{\frac{1,5*H}{305}+6,3*q_k} \tag{6-5}$$

Gdje su:

n_c^{max} – maksimalni broj ciklusa na dan

1440 – vrijeme jednog dana, (min)

H – dubina bušotine, (m)

q_k – očitana vrijednost dobave po jednom ciklusu, (m^3/ciklus)

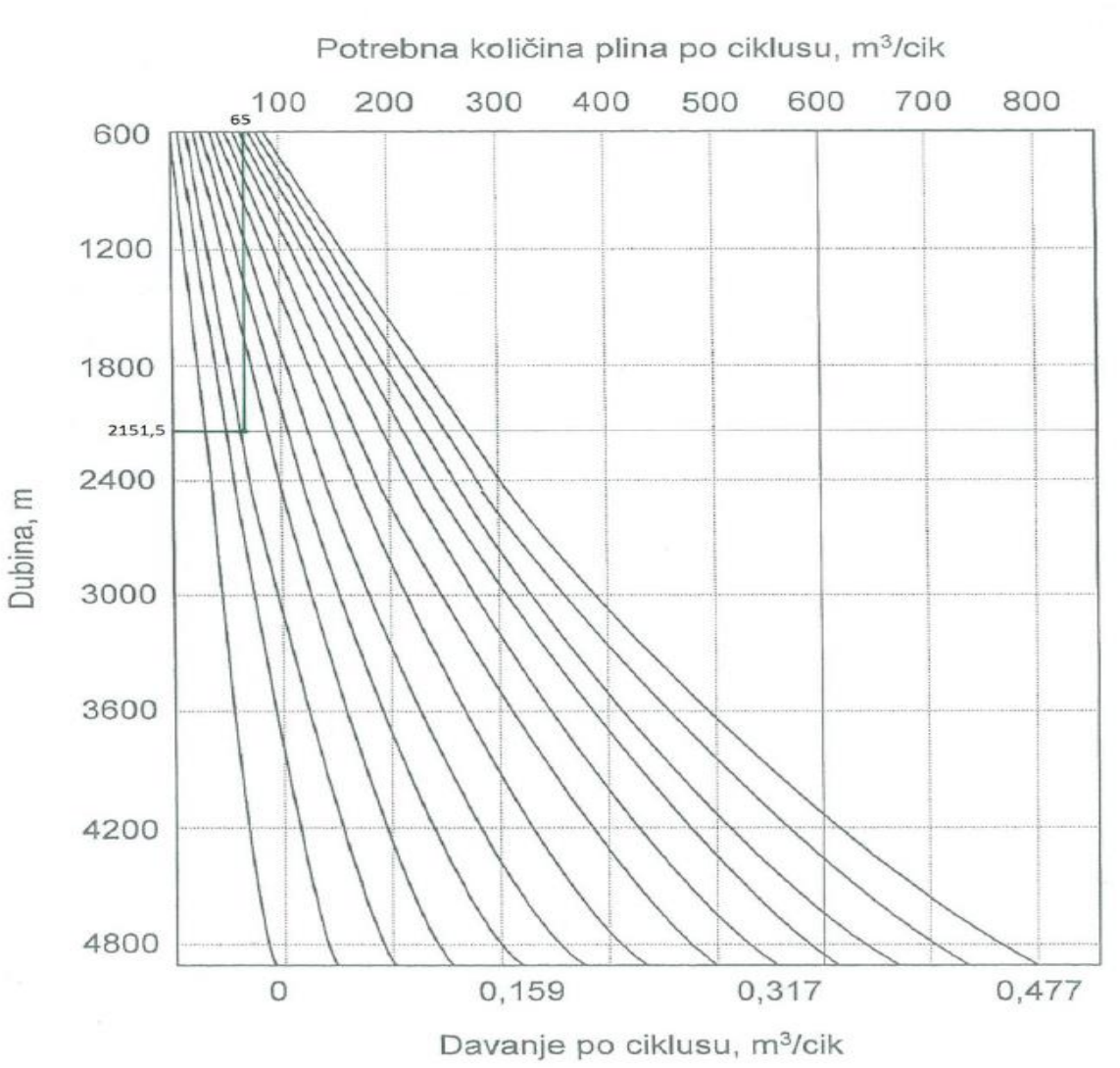
Ukoliko potreban broj ciklusa po danu ne prelazi maksimalan, nastavlja se s proračunom.

$$n_c^{max} = \frac{1440}{\frac{1{,}5 * 2151{,}5}{305} + 6{,}3 * 0{,}13}$$

$$n_c^{max} = 126{,}315\ ciklusa$$

$$n_c < n_c^{max}$$

7. Kod slijedećeg koraka, liniju dubine potrebno je povući do krivulje dobave po ciklusu. Iz njihovog presjecišta diže se okomica do skale i očitava potrebna količina plina po ciklusu što je prikazano na slici 6-4.



Slika 6-4. Prikaz očitanja potrebne količine plina po ciklusu

Očitano:

$$q_g = 62\ m^3/ciklusu$$

8. Potrebna količina plina po danu za rad klipnog lifta:

$$Q_{gk} = n_c * q_g \tag{6-6}$$

Gdje su:

Q_{gk} – potreban količina plina za rad klipnog lifta, (m^3/dan)

n_c – potreban broj ciklusa na dan

q_g – potrebna količina plina po ciklusu, (m^3/ciklus)

$$Q_{gk} = 112{,}307 * 62$$

$$Q_{gk} = 6.963{,}034\ m^3/dan$$

Količina plina dobivena proračunom znatno je veća od količine otopljenog plina. Stoga je za proizvodnju pomoću klipnog lifta potrebno koristiti vanjski izvor plina. To se postiže korištenjem plin-lift ventila za povremeni plinski lift te plina iz postojećeg utisnog plin lift sustava.

6.3 Usporedba dobivenih podataka s proizvodnim podacima rada bušotine pomoću povremenog plinskog lifta

Ukoliko usporedimo dosadašnju proizvodnju pomoću povremenog plinskog lifta s rezultatom proračuna rada pomoću klipnog lifta uočljiva je mogućnost znatno veće proizvodnje kapljevine pomoću metode klipnog lifta.

Tablica 6-4. Usporedba proračuna klipnog lifta za bušotinu X s podacima dosadašnje proizvodnje pomoću povremenog plinskog lifta

	Klipni lift	Povremeni plinski lift
Q_k (m^3/dan)	**14,6**	2,67
Q_k^{max} (m^3/dan)	15,08	
J (m^3/dan/bar)	01618	
q_k (m^3/ciklus)	0,13	
Q_{gk} (m^3/dan)	**6.963,034**	1.898
n_c (ciklus)	112,307	
t_c (min)	12,822	
n_c^{max} (ciklus)	126,315	
P_{sr} (bar)	17	
q_g (m^3/ciklus)	105	
W (%)	60	
Q_n (m^3/dan)	**5,84**	1,068

7. ZAKLJUČAK

Metoda klipnog lifta kao mehanički način podizanja stupca kapljevine, racionalnije koristi slojnu energiju te povećava iscrpak nafte. U odnosu na druge metode podizanja, metoda klipnog lifta ima niz prednosti. Podizanje kapljevine se može obavljati i pri niskim ležišnim tlakovima, te, osim što se klipni lift koristi za proizvodnju plina i nafte, koristi se i za uklanjanje parafina i sprječavanje stvaranja metanskih hidrata. Prilikom kvara skupi remontni radovi nisu potrebni, jer se svi zahvati mogu obavljati alatkama na žici, što dodatno smanjuje troškove.

Za proračunu ugradnje klipnog lifta na primjeru bušotine X, korištena je metoda Foss i Gaul-a. Dobiveni rezultati proračuna pokazuju da je moguće ostvariti veću proizvodnju kapljevine u odnosu na proizvodnju pomoću povremenog plinskog lifta. Usporedbom rezultata povremenog plinskog lifta i klipnog lifta jasno se vidi da je proizvedena količina kapljevine, odnosno nafte, povećana za više od 5 puta. No za ostvarenje veće proizvodnje potrebne su značajno veće količine plina za podizanje kapljevine zbog niskog GLR-a. Potreban plin moguće je nadomjestiti korištenjem kaptažnog plina pridobivenog s ostalih ležišta ili preuzimanjem iz transportnog sustava.

Na temelju navedenog kao i rezultata proračuna, uz nabavku i instalaciju kompletne površinske i dubinske opreme, klipni lift predstavlja prihvatljivo rješenje kao jedan od mehaničkih načina podizanja kapljevine.

8. LITERATURA

1. BEAUREGARD, E., FERGUSON, P.L., 1982. *Introduction to Plunger Lift: Applications, Advantages and Limitations.* Dallas: Society of Petroleum Engineers.

2. BEAUREGARD, E., MORROW, S., 1989. *New and Unusual Applications for Plunger Lift System*. Richardson: Society of Petroleum Engineers.

3. BROWN, E.K., 1980. *The Technology of Artificial Lift Methods (Volume 2B).* Tulsa: Petroleum Publishing Co.

4. GUO, B., LYONS, W.C., GHALAMBOR, A., 2007. *Petroleum Production Engineering: A Computer-Assisted Approach*. Burlington: Gulf Professional Publishing.

5. Katalog opreme za plinsko podizanje nafte, INA d.d., 2009

6. LAKE, L.W., 2007. *Production Engineering Handbook: Production Operations Engineering*. Richardson: Society of Petroleum Engineers.
7. MIRKO, Z., 1977. *Tehnologija pridobivanja nafte i plina eruptiranjem i gasliftom*, INA-Naftaplin, Zagreb.
8. Tehnička dokumentacija, INA d.d., 2015
9. Teledyne Merla, 1979. *Plunger Lift Manual*, Garland, Texas

Internet izvori:

10. DOVER ARTIFICIAL LIFT. PCS Ferguson Arrival Sensors. URL: http://doverals.com/pcsferguson/english/pcs-global/products/plunger-lift/products/arrival-sensors/3dso (22.01.2019.)

11. HY-BON/EDI-Vent Gas Management. EDI-MV Motor Valve. URL: https://hy-bon.com/products/plungerlift/motor-valve/ (21.01.2019)

12. SHALETEC URL: https://shaletec.com/faq/which-plunger-is-right-for-my-well/ (22.01.2019.)

IZJAVA

Izjavljujem da sam diplomski rad samostalno izradio uz korištenje navedene literature.

_____

Jasmin Ćenanović