

# Dimenzioniranje podizanja kapljevine neprekidnim plinskim liftom određivanjem dubine smještaja ventila

---

Oreč, Borna

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

*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:169:127056>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-12**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Preddiplomski studij naftnog rudarstva

**DIMENZIONIRANJE PODIZANJA KAPLJEVINE NEPREKIDNIM  
PLINSKIM LIFTOM ODREĐIVANJEM DUBINE SMJEŠTAJA  
VENTILA**

Završni rad

Borna Oreč  
N4324

Zagreb, 2021.

DIMENZIONIRANJE PODIZANJA KAPLJEVINE NEPREKIDNIM PLINSKIM LIFTOM  
ODREĐIVANJEM DUBINE SMJEŠTAJA VENTILA

BORNA OREČ

Završni rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za naftno-plinsko inženjerstvo i  
energetiku  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Neprekidni plinski lift često je primjenjivana mehanička metoda podizanja kapljevine zbog mogućnosti široke primijene. Ova metoda koristi se energijom stlačenog plina sa svrhom smanjenja gustoće stupca kapljevine iznad točke utiskivanja, povećanja GLR-a, smanjenja dinamičkog tlaka na dno bušotine kako bi omogućila proizvodnju u slučaju pada ležišnog tlaka ispod potrebnog za eruptivno davanje bušotine ili ukoliko su davanja bušotine manja od željene količine. Tema ovoga završnog rada je djelovanje neprekidnog plinskog lifta, međuovisnost rada plinskog lifta i karakteristika pojedine bušotine te primjer proračuna smještaja plinskih ventila.

Ključne riječi: neprekidni plinski lift, plinski ventili, GLR, tlak  
Završni rad sadrži: 25 stranica, 1 tablicu, 15 slika, 5 referenci  
Jezik izvornika: Hrvatski  
Završni rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Pierottijeva 6,  
Zagreb  
Mentor: Dr. sc. Vladislav Brkić, izvanredni profesor RGNF-a  
Ocjenjivači: Dr. sc. Vladislav Brkić, izvanredni profesor RGNF-a  
Dr. sc. Sonja Koščak Kolin, docentica RGNF-a  
Dr. sc. Borivoje Pašić, izvanredni profesor RGNF-a

Datum obrane: 21.9.2021., Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu

## SADRŽAJ

<b>POPIS SLIKA.....</b>	<b>I</b>
<b>POPIS TABLICA.....</b>	<b>II</b>
<b>POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I PRIPADAJUĆIH SI JEDINICA.....</b>	<b>III</b>
<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. NEPREKIDNI PLINSKI LIFT.....</b>	<b>2</b>
2.1. Rasterećivanje uređaja za neprekidni plinski lift.....	3
2.2. Mehanika plinskog ventila.....	5
2.2.1. Ventil s mijehom pod tlakom.....	5
2.2.2. Ventili s oprugom i mijehom bez tlaka.....	7
2.2.3. Vrste plinskih ventila za neprekidni plinski lift.....	8
<b>3. DUBINA SMJEŠTAJA PLINSKIH VENTILA.....</b>	<b>12</b>
3.1. Grafička metoda izračunavanje dubine smještaja plinskih ventila.....	12
3.2. Postupak izračunavanja smještaja plinskih ventila pri jednakom tlaku utiskivanja na površini za sve ventile.....	16
<b>4. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>24</b>
<b>5. LITERATURA.....</b>	<b>25</b>

## POPIS SLIKA

<b>Slika 2-1.</b> Shema sustava za plinski lift.....	2
<b>Slika 2-2.</b> Postupak rasterećenja neprekidnog uređaja za plinski lift.....	3
<b>Slika 2-3.</b> Rasterećenje neprekidnog plinskog uređaja pri utiskivanju plina kroz prvi i drugi ventil .....	4
<b>Slika 2-4.</b> Rasterećenje neprekidnog plinskog uređaja pri utiskivanju plina kroz radni ventil ..	4
<b>Slika 2-5.</b> Shematski prikaz konstrukcije plinskog ventila ispunjenog stlačenim plinom, bez opruge.....	6
<b>Slika 2-6.</b> Shematski prikaz konstrukcije plinskog ventila s oprugom i mijehom ispunjenim nestlačenom kapljevinom.....	8
<b>Slika 2-7.</b> Plinski ventil za neprekidni plinski lift tip LM-16 .....	10
<b>Slika 2-8.</b> Diferencijalni plinski ventil.....	11
<b>Slika 3-1.</b> Dijagram za očitavanje veličine gradijenta temperature u uzlaznim cijevima promjera 2 ½ " .....	13
<b>Slika 3-2.</b> Shematski prikaz djelovanja neprekidnog lifta.....	14
<b>Slika 3-3.</b> Grafičko utvrđivanje točaka utiskivanja plina.....	16
<b>Slika 3-4.</b> Gilbertove krivulje gradijenata dinamičkog tlaka u uzlaznim cijevima.....	18
<b>Slika 3-5.</b> Dijagram ovisnosti tlaka izazvanog težinom stupca plina o vrijednosti tlaka plina na ušću prstenastog prostora razmatran na 1000 m visine.....	19
<b>Slika 3-6.</b> Dijagram ovisnosti tlaka u mijehu plinskog ventila (napunjenog dušikom) pri zadanoj (radnoj) temperaturi o tlaku u mijehu pri standardnoj temperaturi.....	21
<b>Slika 3-7.</b> Grafičko rješenje proračuna smještaja ventila za neprekidni lift.....	24

**POPIS TABLICA**

**Tablica 3-1. Podaci o bušotini**

"X" .....17

## POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I PRIPADAJUĆIH SI JEDINICA

$A_m$  – efektivna površina mijeha,  $m^2$

$A_s$  – površina sjedišta ventila,  $m^2$

$A_v$  – površina poprečnog presjeka vodilice,  $cm^2$

$D_{zc}$  – promjer zaštitnih cijevi, mm

$D_{tv}$  – vanjski promjer tubinga, mm

$F_{opr}$  – sila opruge koja djeluje pri zatvaranju, N

$F_{ov}$  – sila otvaranja ventila, N

$F_{zv}$  – sila zatvaranja ventila, N

$G_d'$  – gradijent dinamičkog tlaka iznad točke utiskivanja plina, bar/m

$G_d''$  – gradijent dinamičkog tlaka ispod točke utiskivanja plina, bar/m

$H_b$  – dubina bušotine, m

$J$  – indeks proizvodnosti,  $m^3/dan/at$

$P_d$  – dinamički tlak na dnu bušotine, bar

$P_{mv}$  – tlak u mijehu, bar

$P_{mv1}$  – tlak u mijehu prvog ventila na razini njegove ugradnje, bar

$P_{opr}$  – tlak opruge koji djeluje pri zatvaranju, bar

$P_{ov}$  – tlak otvaranja ventila, bar

$P_{tv}$  – tlak u tubingu na razini ventila, bar

$P_{uu}$  – tlak utiskivanja na ušću, bar

$P_{uv}$  – tlak utiskivanja plina na razini ventila, bar

$P_{zv}$  – tlak zatvaranja ventila, bar

$R_m$  – odnos površine sjedište i efektivne površine mijeha ( $A_s/A_m$ )

$Q_g$  – količine plina potrebne za plinsko podizanje,  $m^3/dan$

$Q_o$  – količine proizvedene nafte,  $m^3/dan$

$\Delta P_s$  – smanjenje tlaka uslijed protjecanja u vodoravnom cjevovodu, bar

$\Delta P_n$  – smanjenje tlaka zbog cjevovoda položenog pod nagibom, bar

$\gamma_g$  – relativna specifična težina plina

$\gamma_o$  – relativna specifična težina nafte

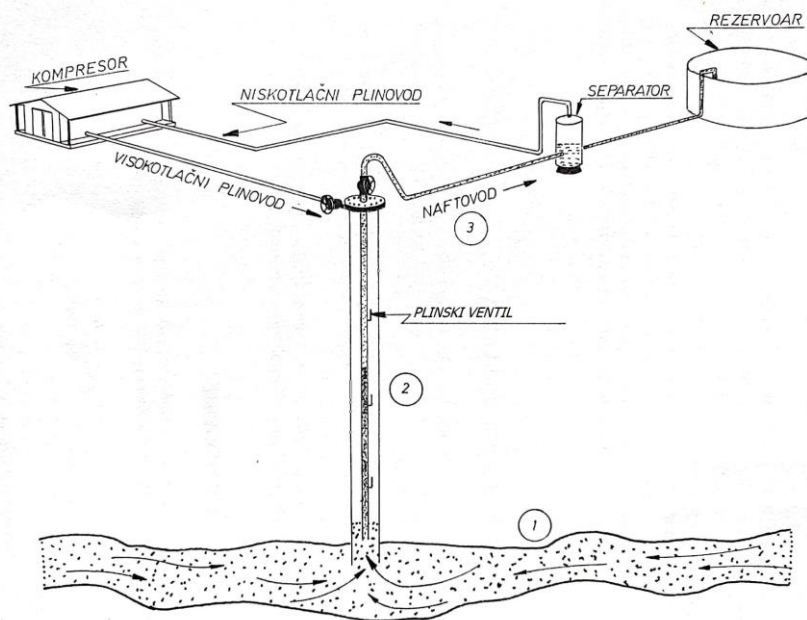


## 1. UVOD

Pritjecanje fluida iz ležišta u bušotinu ovisi o razlici između ležišnog, statičkog, i dinamičkog tlaka na dnu bušotine. Ta razlika naziva se depresijom i razmjerna je davanju bušotine. Eruptivno davanje bušotine odvija se u početnoj fazi iskorištavanja ležišta ukoliko je zadovoljen uvjet eruptivne metode: energija ležišta dovoljno je velika da fluid s dna bušotine podigne do ušća bušotine. Jedna od najbitnijih komponenata je GLR (gas liquid ratio), plinski faktor, koji predstavlja količinu otopljenog plina u kapljevine, jer se energija potrebna za dizanje kapljevine nalazi u stlačenom plinu. Dolaskom fluida u područje nižeg tlaka, plin ekspandira što izaziva smanjenje gustoće kapljevine u uzlaznom nizu cijevi i omogućava bušotini da, pri postojećem dinamičkom tlaku na dno, može eruptirati, odnosno davati odgovarajuću količinu fluida. Smjesa kapljevine i plina s dna bušotine dizat će se vlastitom energijom ležišta tako dugo dok ležišni tlak ne padne ispod vrijednosti koja omogućava nesmetano podizanje smjese. U tom slučaju, nužno je primijeniti jednu od mehaničkih metoda pridobivanja kapljevine u koje se ubraja: proizvodnja dubinskim sisaljka i plinski lift. Također, mehanička metoda primijenit će se ukoliko dobivamo manju količinu kapljevine od željene. Pri proizvodnji dubinskim sisaljka energija potrebna za rad dobiva se mehaničkim putem, dok metoda "liftiranja" koristi energiju akumuliranu u stlačenom plinu. Načelo rada plinskog lifta je da se povećanjem plinskog faktora, GLR, snižava dinamički tlak na dnu, te se na taj način povećava depresija, razlika između ležišnog tlaka i dinamičkog tlaka na razini ležišta. Prema načinu utiskivanja plina kroz plinske ventile razlikuju se povremeni i neprekidni plinski lift. Za razliku od neprekidnog plinskog lifta, povremeni plinski lift u određenim vremenskim intervalima upušta velike količine plina iz prstenastog prostora u uzlazne cijevi nakon čega plin svojom ekspanzijom podiže kapljevinu na površinu velikom brzinom. Čimbenici o kojima ovisi odabir vrste plinskog lifta su: statički tlak na dnu bušotine, indeks proizvodnosti i raspoloživi tlak za utiskivanje plina. Ono što ovu metodu stavlja u prednost u odnosu na ostale je mogućnost prilagodbe širokom rasponu davanja bušotine (npr. bušotina dobave do 15 m<sup>3</sup>/dan ili bušotina dobave do 12 000 m<sup>3</sup>/dan) može se primijeniti u bušotinama manje dubine, ali prednost mu raste s povećanjem dubine (od 150 m do više od 3000 m (Zelić, 1986)). Tema ovoga rada je djelovanje neprekidnog plinskog lifta, međuovisnost rada plinskog lifta i karakteristika pojedine bušotine, proračun smještaja plinskih ventila.

## 2. NEPREKIDNI PLINSKI LIFT

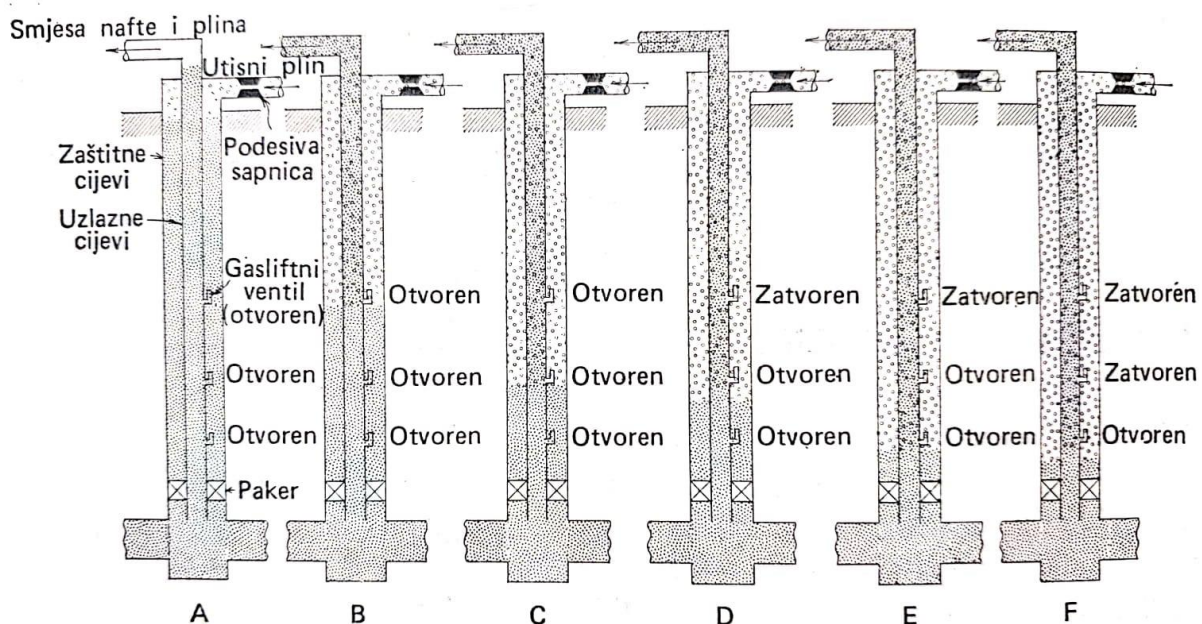
Metoda pri kojoj se stlačeni plin konstantno utiskuje iz prstenastog prostora u tubing na odgovarajućoj dubini naziva se neprekidni plinski lift. Na taj način produljuje se iskorištavanje bušotine tako što se pliniziranjem stupca kapljevine smanjuje njezina gustoća, tj. dinamički tlak stupca kapljevine na dno bušotine. Neprekidni plinski lift primjenjuje se u bušotinama većeg davanja, s visokim plinskim faktorom, u bušotinama u kojima se pojavljuju pijesak i voda, bušotinama opremljenim uzlaznim cijevima malog promjera. Osnovni nadzemni dijelovi plinskog lifta su: naftovod koji odvodi proizvedeni fluid do separatora u kojem se vrši primarna separacija plina i kapljevine, a zatim do spremnika za uskladištenje, niskotlačni plinovodi koji odvojeni plin dovode do kompresorske stanice, visokotlačni plinovodi za dovod plina do ušća bušotine, površinskih uređaja za kontrolu utiskivanja plina do ušća bušotine, a zatim i do dubinske opreme. (Slika 2-1.)



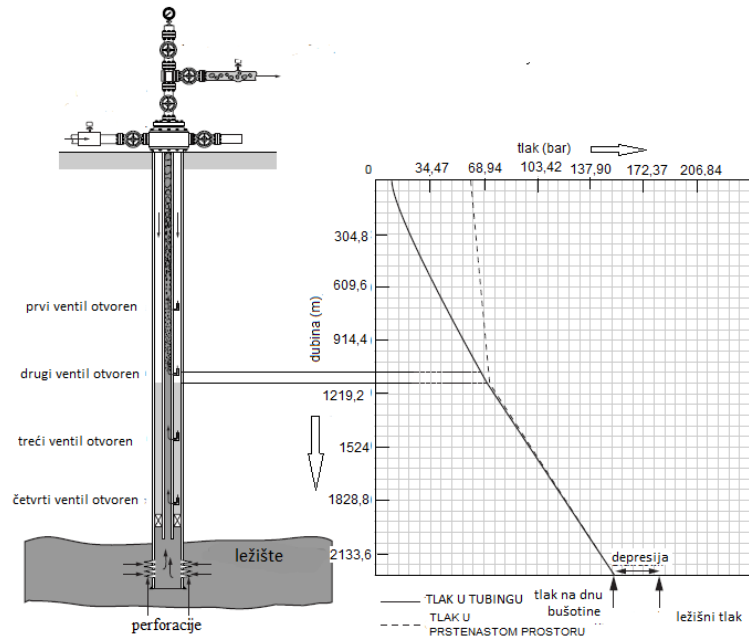
Slika 2-1. Shema sustava za plinski lift (Zelić, 1986)

## 2.1. Rasterećivanje uređaja za neprekidni plinski lift

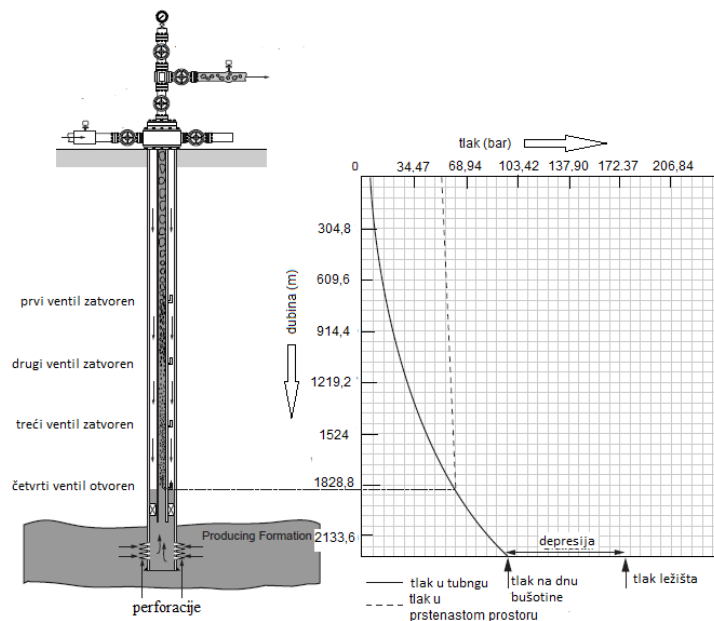
Na slici 2-2. prikazan je postupak rasterećenja neprekidnog plinskog uređaja i redoslijed otvaranja i zatvaranja plinskih ventila pri utiskivanju plina. U početku, svi ventili su otvoreni, nema depresije koja bi omogućila proizvodnju. Utiskivanjem plina kroz prvi plinski ventil započinje smanjenje gustoće kapljevine iznad točke utiskivanja, smanjenje stupca kapljevine u prstenastom prostoru i smanjenje dinamičkog tlaka na dno bušotine. To omogućava podizanje kapljevine u tubing, a zatim i utiskivanje plina kroz drugi plinski ventil. Posljedica toga je povećanje depresije i prtok fluida iz ležišta u bušotinu što je prikazano na slici 2-3. Zbog smanjenja tlaka u tubing, prvi plinski ventil se zatvara. Plin će se sada nastaviti utiskivati kroz drugi i treći, radni, ventil tako dugo dok se zbog smanjenja tlaka drugi ventil ne zatvori. Na kraju, plin će se utiskivati samo kroz najdonji ventil. Taj slučaj prikazan je na slici 2-4. Usporedbom sa slikom 2-3. možemo primijetiti pad tlaka u prstenastom prostoru i pad tlaka na dno bušotine što je rezultiralo značajnim povećanjem depresije.



Slika 2-2. Postupak rasterećenja neprekidnog plinskog uređaja (Zelić, 1977)



**Slika 2-3.** Rasterećenje neprekidnog plinskog uređaja pri utiskivanju plina kroz prvi i drugi ventil (Heriot-Watt University, 2020)



**Slika 2-4.** Rasterećenje neprekidnog plinskog uređaja pri utiskivanju plina kroz radni ventil (Heriot-Watt University, 2020)

## 2.2. Mehanika plinskog ventila

Plinski ventili služe za kontrolu utisnutog plina iz prstenastog prostora u tubing. Sastoje se od dvije sekcije: upravljačke (pilot) i radne (glavne) sekcije. Upravljačka sekcija sastoji se od mijeha bez tlaka s oprugom, zaporne kuglice i sjedišta. U glavnoj sekciji nalazi se klip, kućište klipa, osovina klipa s oprugom, kavez, glavni otvor s brtvom i glavnim ventilom. Mijeh je mehanička naprava valjkastog oblika i pravilno naborane površine koja djelovanje tlaka pretvara u pravocrtno gibanje u obliku stezanja. Takva konstrukcija sprječava mehaničku deformaciju uzrokovanu razlikom tlakova. Mehanika plinskih ventila prema tome dijeli se u dvije skupine: ventili s mijehom pod tlakom i ventili s mijehom bez tlaka s oprugom.

### 2.2.1. Ventili s mijehom pod tlakom

Mnogi ventili opremljeni su mijehom ispunjenim stlačenim plinom, najčešće dušikom, zbog svojih karakteristika: nezapaljiv i ne djeluje korozivno. Na ventil takvog tipa djeluju dvije sile suprotnog smjera, a to su: tlak plina u mijehu ( $P_m$ ) koji svojim djelovanjem zapornu kuglicu drži na njenom sjedištu, tj. drži ventil zatvorenim, i tlak u tubingu i prstenastom prostoru. Da bi se ventil otvorio tlak plina iz tubinga koji djeluje na sjedište zaporne kuglice i tlak plina iz prstenastog prostora koji djeluje na vanjsku efektivnu površinu mijeha moraju biti veći od tlaka dušika u komori i mijehu. Ta razlika tlakova omogućava otvaranje ili zatvaranje ventila. (Slika 2-5).

Sila zatvaranja:

$$F_{zv} = A_m \times P_{mv} \quad (2-1)$$

Gdje su:

$F_{zv}$  – sila zatvaranja, N

$A_m$  – efektivna površina mijeha,  $m^2$

$P_{mv}$  – tlak u mijehu pri određenim uvjetima u bušotini, Pa

Sila otvaranja:

$$F_{ov} = P_{uv} \times (A_m - A_s) + P_{tv} \times A_s \quad (2-2)$$

Gdje su:

$F_{ov}$  – sila otvaranja, N

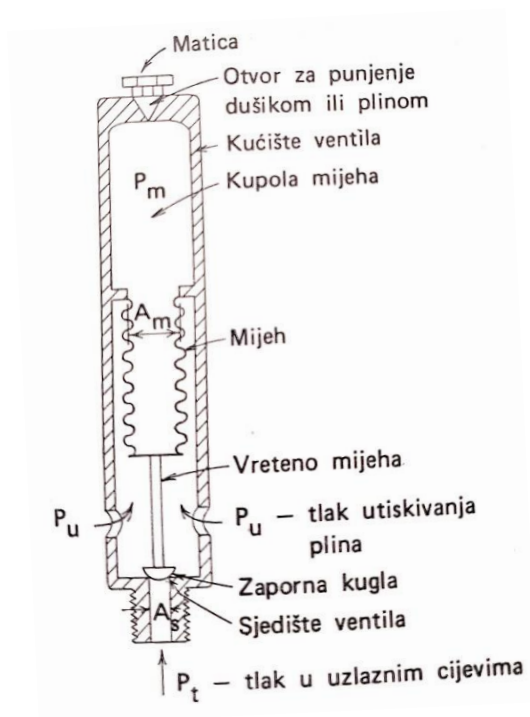
$P_{uv}$  – tlak utiskivanja plina na razini ventila, Pa

$A_s$  – površina sjedišta ventila,  $m^2$

$P_{tv}$  – tlak u tubingu na razini ventila, Pa

Sile zatvaranja i otvaranja jednake su neposredno prije otvaranja ventila:

$$A_m \times P_{mv} = P_{uv} \times (A_m - A_s) + P_{tv} \times A_s \quad (2-3)$$



**Slika 2-5.** Shematski prikaz konstrukcije plinskog ventila ispunjenog stlačenim plinom, bez opruge (Zelić, 1977)

### 2.2.2. Ventili s oprugom i mijehom bez tlaka

Mijeh bez tlaka s oprugom ispunjen je 5% silikonskom zaštitnom tekućinom protiv korozije i graničnicima koji sprječavaju preopterećenje uslijed djelovanja visokog tlaka. Tlak iz prstenastog prostora djeluje na vanjsku efektivnu površinu mijeha što uzrokuje njegovo uzdužno kretanje po osi i podizanje zaporne kuglice sa svog sjedišta uz uvjet da je taj tlak veći od sile napetosti opruge ukoliko želimo otvoriti ventil. Na taj način otvara put za prolaz plina iz upravljačke u radnu sekciju iznad klipa. Tlak plina potiskuje klip povezan s glavnim ventilom te omogućava ulazak plina u tubing. Posljedično tome, tlak plina u prstenastom prostoru opada do određene vrijednosti sile opruge koja zatvara ulaz plina iznad klipa. Oprugom klipa i razlikom odnosa površina klipa i otvora ventila, klip se vraća u početni položaj i zatvara glavni otvor, odnos ulaz plina. Uvjeti za ponovno otvaranje upravljačke sekcije ventila postižu se porastom tlaka u prstenastom prostoru i stupcem nafte u tubingu. Ovisno o tome koja sila je veća, napetost opruge ili tlak iz prstenastog prostora, ventil će biti ili otvoren ili zatvoren. Sila napetosti opruge podešava se na ispitnom stolu. (slika 2-6.) U trenutku zatvaranja, pri određenim uvjetima u bušotini, tlak u tubingu i tlak utiskivanja plina jednaki su i odgovoraju sili opruge, tj tlaku zatvaranja ventila ( $P_{uv} = P_{tv} = P_{zv}$ ).

$$F_{opr} = P_{zv} \times (A_m - A_s) + P_{zv} \times A_s = P_{zv} \times A_m \quad (2-4)$$

Gdje je:

$F_{opr}$  – sila opruge, N

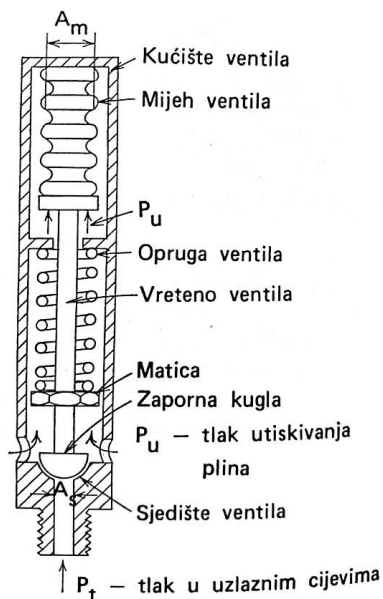
$$P_{zv} \times A_m = P_{uv} \times (A_m - A_s) + P_{tv} \times A_s \quad (2-5)$$

Ako izraz  $A_s / A_m$  zapišemo kao  $R_m$ , tlak zatvaranja na razini ventila izražava se kao:

$$P_{zv} = P_{uv} \times (1 - R_m) + P_{tv} \times R_m \quad (2-6)$$

Gdje je:

$R_m$  – odnos površine sjedišta ventila i efektivne površine mijeha ( $A_s/A_m$ )



**Slika 2-6.** Shematski prikaz konstrukcije plinskog ventila s oprugom i mijehom ispunjenim nestlačenom kapljevinom (Zelić, 1977)

### 2.2.3. Vrste plinskih ventila za neprekidni plinski lift

Zahtjevi u vezi s kontinuiranim ventilom plinskog lifta (Zelić, 1986):

- Sposobnost ventila da radi kao promjenljivi otvor: u slučaju porasta tlaka u uzlaznom nizu cijevi iznad predviđenog ventil treba propuštati veće količine plina i obratno.
- Sposobnost da sve do operativnog, najdonjeg, ventila upušta puni raspoloživi radni tlak utiskivanja plina.
- Upotreba istog radnog tlaka na površini za sve ventile kako u jednostrukim tako i u dvostrukim instalacijama sa zajedničkim prstenastim prostorom.
- Mogućnost podešavanja tlaka otvaranja/zatvaranja za dvostruku instalaciju i više prostora za smještaj ventila, te da na tlak podešavanja ne utječe temperatura.

Neki od plinskih ventila korišteni za neprekidni plinski lift su: vadivi (L-12R, LN-20R, LM-16R, TIN-1), nevadivi (LM-16, J-40, WF-3)



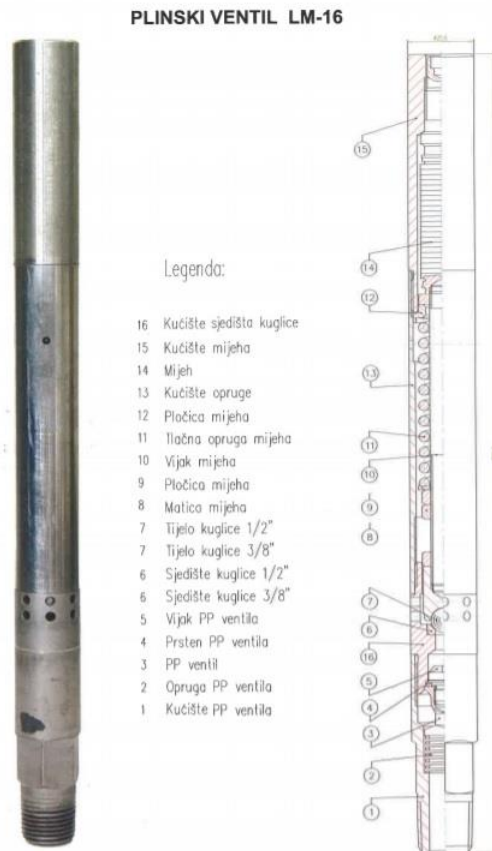
a) Ventil plinskog lifta "L" serije

"L" serija oznaka je za prigušne ventile s oprugom. Takva konstrukcija primjenjuje se isključivo za neprekidni plinski lift.

Prednosti ovakvog tipa ventila su (Zelić, 1986):

- Mogućnost održavanja konstante vrijednosti tlaka u prstenastom prostoru, u tom slučaju, otvaranje ili zatvaranje ventila ovisi o tlaku u uzlaznom nizu cijevi
- Proporcionalan odnos ventila i tlaka u tubingu: ako je tlak u tubingu manji od očekivanog, ventil će prigušivati prolazak plina i obratno
- Propusna moć ventila je poznata, u protivnom, projektant može na temelju zadane količine plina pretpostaviti propusnu moć ventila
- Nije temperaturno osjetljiv
- Dugotrajnost ispravnog djelovanja ventila postiže se izradom zaporne kuglice i sjedišta od volframovog karbida koji je otporan na eroziju i habanje
- Dovoljno velik promjer

LM-16 tip je plinskog ventila opremljenim s mijehom bez tlaka, ispunjen zaštitnom tekućinom i oprugom. Vanjski promjer iznosi 1" (25,4 mm). Količina plina koja se propušta kroz ventil proporcionalna je stupcu nafte u uzlaznim cijevima: ako je visina stupca nafte veća, više će se plina propuštati, u suprotnom, ventil će prigušivati prolaz plina kroz otvor sjedišta. Protupovratni ventil smješten je ispod sjedišta i kuglice. (slika 2-7.)



**Slika 2-7.** Plinski ventil za neprekidni plinski lift tip LM-16 (Turkalj i Budimić, 2009)

b) Diferencijalni plinski ventil

Diferencijalni plinski ventil primjenjuje se isključivo kod neprekidnog plinskog lifta i prvi su primjenjivani. Djeluju na temelju razlike tlakova u prstenastom prostoru i u tubingu na razini ugradnje ventila. (Slika 2-8.)

Ravnoteža sila u trenutku otvaranja u bušotini izražava se formulom:

$$P_{tv} \times A_s + P_{opr} \times A_s = P_{uv} \times A_s \quad (2-7)$$

Ako jednadžbu 2-7 podijelimo s  $A_s$ , tlak otvaranja ventila jednak je:

$$P_{ov} = P_{tv} + P_{opr} \quad (2-8)$$

Tlak otvaranja ventila ovisi o veličini tlaka u tubingu na razini ugradnje ventila.

U trenutku zatvaranja ventila, jednadžba ravnoteže sila u bušotini glasi:

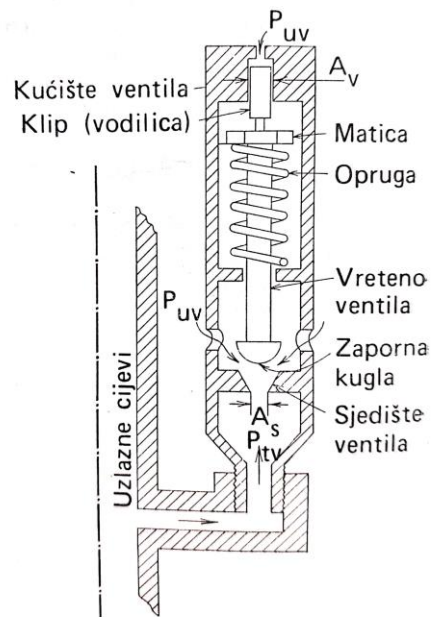
$$P_{tv} \times A_v + P_{opr} \times A_s = P_{uv} \times A_v \quad (2-9)$$

Ako pretpostavimo da je tlak utiskivanja plina u trenutku zatvaranja ventila jednak tlaku zatvaranja, tada koristimo izraz:

$$P_{zv} = P_{tv} + P_{opr} \times A_s / A_v \quad (2-10)$$

Gdje je:

$A_v$  – površina poprečnog presjeka vodilice,  $m^2$



**Slika 2-8.** Diferencijalni plinski ventil (Zelić, 1977)

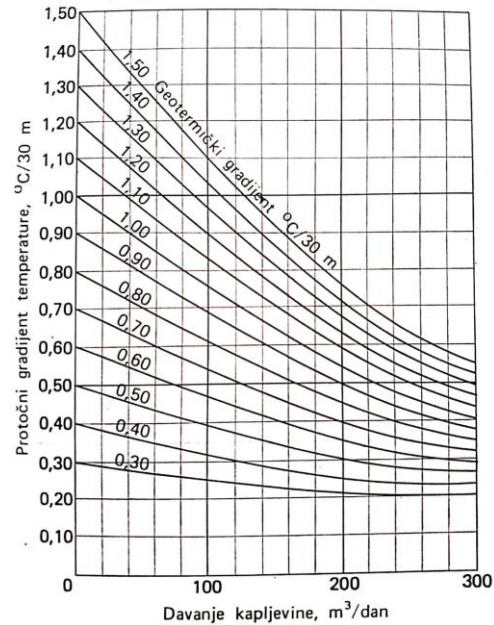
### 3. DUBINA SMJEŠTAJA PLINSKIH VENTILA

Parametri o kojima ovisi dubina ugradnje plinskih ventila su (Zelić, 1977):

- Maksimalni i radni tlak utiskivanja plina kojim se raspolaže
- Vrijednost krivulje GLR-a iznad točke utiskivanja plina
- Konstrukcija i vrsta plinskih ventila
- Gustoća kapljevine kojom je bušotina ugušena i gustoća kapljevine koju bušotina proizvodi
- Ako se koriste plinski ventili osjetljivi na temperaturu, potrebno je poznavati temperaturu u bušotini
- Protutlak na odbojniku uzlaznih cijevi

#### 3.1. Grafička metoda izračunavanje dubine smještaja plinskih ventila

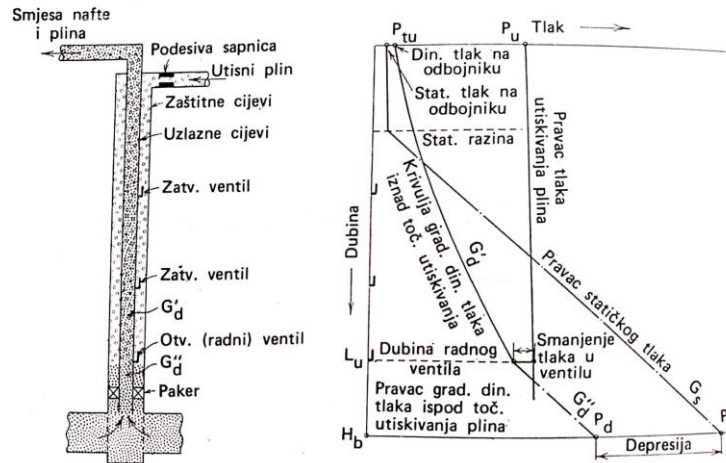
Glavna osobina plinskih ventila koji se koriste za neprekidno plinsko podizanje je mogućnost podešavanja utiskivanja plina iz prstenastog prostora u tubing. Najvažniji parametar pri odabiru ventila je promjer sjedišta, tj otvora za propuštanje plina što ovisi o uvjetima u bušotini. U slučaju korištenja ventila osjetljivih na temperaturu, bitno je uzeti u obzir temperatura u bušotini jer njena promjena izaziva promjenu tlakova otvaranja i zatvaranja ventila. Protočni gradijent temperature ovisi o količini davanja i plinskom faktoru. Dijagram za očitavanje veličine gradijenta temperature u tubing u koristi se za izračunavanje protočnog gradijenta temperature (slika 3-1). Na temelju toga i izmjerene temperature na dnu bušotine dobivamo krivulju na dijagramu.



**Slika 3-1.** Dijagram za očitavanje veličine gradijenta temperature u uzlaznim cijevima promjera 2 ½ " (Zelić, 1977)

Za izračunavanje dubine točke utiskivanja plina potrebno je razmotriti vrijednost sljedećih pokazatelja(Zelić, 1977) (slika 3–2.):

- a)  $P_s$  , statički tlak na dnu bušotine ili  $G_s$  , gradijent statičkog tlaka
- b)  $P_d$  , dinamički tlak na dnu bušotine
- c)  $G_d'$  , gradijent dinamičkog tlaka iznad točke utiskivanja plina
- d)  $G_d''$  , gradijent dinamičkog tlaka ispod točke utiskivanja plina
- e)  $P_{tu}$  , dinamički tlak na odbojniku uzlaznih cijevi
- f)  $P_u$  , tlak utiskivanja plina
- g)  $Q_g$  , količine plina potrebne za plinsko podizanje



**Slika 3-2.** Shematski prikaz djelovanja neprekidnog lifta (Zelić, 1986)

Podatak o statičkom tlaku na dnu bušotine i razina kapljevine u praksi nam je najčešće poznat. Na temelju tih podataka računa se i ucrtava pravac gradijenta statičkog tlaka. Ukoliko nam ti podaci nisu poznati, koristimo se gotovim krivuljama za gradijent tlaka. U slučaju statičkog tlaka, pratimo krivulju za plinski faktor jednak nuli. Ako znamo vrijednost statičkog tlaka na dnu bušotine i potrebnu depresiju, jednostavno možemo dobiti vrijednost dinamičkog tlaka na dnu bušotine (slika 3-2). U suprotnom, koristi se formula 3-2.

$$P_d = P_s - \Delta P \quad (3-1)$$

Gdje su:

$P_d$  – dinamički tlak na dnu bušotine, bar

$P_s$  – statički tlak, bar

$\Delta P$  – depresija, bar

$$P_d = P_{tu} + G_d' \times L_u + G_d'' \times (H_b - L_u) \quad (3-2)$$

Gdje su:

$P_{tu}$  – dinamički tlak na odbojniku tubinga, bar

$G_d'$  – gradijent dinamičkog tlaka iznad točke utiskivanja plina, bar/m

$G_d''$  – gradijent dinamičkog tlaka ispod točke utiskivanja plina, bar/m

$L_u$  – dubina točke utiskivanja plina, m

$H_b$  – dubina dna bušotine, m

Krivulju gradijenta dinamičkog tlaka stupca fluida u tubingu ispod točke utiskivanja plina ( $G_d''$ ) ucrtavamo u dijagram korištenjem gotove krivulje (slika 3.3) koja najviše odgovara našim uvjetima proračuna. One su izrađene na temelju vanjskog promjera tubinga i davanju bušotine ( $Q_o$ ), a ovise o slojnom plinskom faktoru (GLR). Često se ta krivulja može ucrtati usporedno s pravcem statičkog tlaka.

Krivulju gradijenta dinamičkog tlaka iznad točke utiskivanja plina ( $G_d'$ ) isto tako određujemo pomoću gotovih krivulja, a za to nam je potreban podatak dinamičkog tlaka na odbojniku tubinga. U slučaju da smo dubinu utiskivanja plina već odredili poznavajući veličinu dinamičkog tlaka na dnu bušotine, tj na temelju  $G_d''$  i veličine tlaka utiskivanja plina, krivulju  $G_d'$  dobivamo spajanjem te točke i točke koja predstavlja veličinu dinamičkog tlaka na odbojniku tubinga. Ukoliko nam podatak o dinamičkom tlaku na dnu bušotine nije poznat, ucrtavanjem  $G_d'$  i pravca tlaka utiskivanja plina, uzimajući u obzir smanjenje tlaka pri prolasku kroz ventil, dobivamo točku utiskivanja plina. Tada na gotovim krivuljama pratimo onu koja odgovara ekonomičnom plinskom faktoru.

"Neprekidni lift je pod specifičnim uvjetima moguć ako pretpostavimo da se dvije krivulje gradijenata tlaka, tj. ona iznad i ispod točke utiskivanja, sijeku u vrijednosti tlaka koji je nešto manji od vrijednosti tlaka utiskivanja plina na toj dubini." (Zelić, 1986.) To presjecište krivulja određuje dubinu utiskivanja plina. Minimalni tlak za utiskivanje plina na toj dubini dobije se tako što vrijednosti tlaka u tubingu dodamo diferencijalni tlak nastao u ventilu (otprilike 7 bara).

Za neprekidni plinski lift veoma je bitno da dinamički tlak na odbojniku tubinga bude što manji, jer u suprotnom potrebne su velike količine utiskivanog plina da bi se postigla potrebna djelotvornost plinskog lifta. Taj tlak na odbojniku uzlaznog niza cijevi određen je tlakom u separatoru iz kojeg plin dolazi cjevovodima.

$$P_{tu} = P_{se} + \Delta P_s + \Delta P_n \quad (3-3)$$

Gdje su:

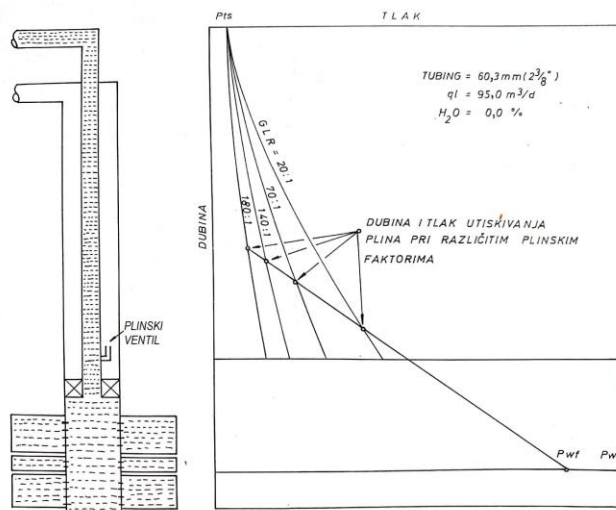
$P_{tu}$  – dinamički tlak na odbojniku uzlaznog niza cijevi, bar

$P_{se}$  – tlak u separatoru, bar

$\Delta P_s$  – smanjenje tlaka uslijed protjecanja u vodoravnom cjevovodu, bar

$\Delta P_n$  – smanjenje tlaka zbog cjevovoda položenog pod nagibom, bar

Ovisnost količine utiskivanog plina pri neprekidnom plinskom liftu i plinskog faktora, količine kapljevine koja se podiže grafički je prikazano na slici 3-3. Ako se za primjer uzme bušotina kojoj je poznat promjer tubinga, dnevna proizvodnja i postotak slojne vode, može se zaključiti da se pri smanjenju GOR-a (gas oil ratio), dubina i tlak utiskivanja plina povećavaju pri jednakom dinamičkom tlaku na dnu bušotine. Tlak u uzlaznom nizu cijevi će se mijenjati zajedno s promjenom odnosa plina i kapljevine, stoga je za kontrolu gradijenta tlaka stupca kapljevine u tubingu veoma bitna količina utiskivanog plina.



**Slika 3-3.** Grafičko utvrđivanje točaka utiskivanja plina (Zelić, 1986)

3.2. Postupak izračunavanja smještaja plinskih ventila pri jednakom tlaku utiskivanja plina na površini za sve ventile

Na primjeru bušotine "X" s podacima navedenim u tablici 3-1. prikazani su koraci proračuna smještaja plinskih ventila kao i grafičko rješenje (slika 3-7). Postupak proračuna rađen je prema primjeru danom u Zelić (1977) s izmijenjenim ulaznim podacima.



**Tablica 3-1.** Podaci o bušotini "X"

Srednja dubina napucavanja, $H_b$	2000 m
Promjer zaštitnih cijevi, $D_{zc}$	139,7 mm
Vanjski promjer uzlaznih cijevi, $D_{tv}$	60,03 mm
Željeno davanje bušotine, $Q_o$	75 m <sup>3</sup> / dan
Odnos vode i nafte, WOR	0
Dinamički tlak na ušću, $P_{tu}$	10 bar
Maksimalni tlak utiskivanja, $P_u^{max}$	60 bar
Radni tlak utiskivanja plina, $P_u$	55 bar
Relativna specifična težina nafte, $\gamma_o$	0,95
Relativna specifična težina plina, $\gamma_g$	0,65
Indeks proizvodnosti, J	0,95 m <sup>3</sup> /dan/bar
Temperatura na dnu bušotine, $t_d$	130 °C
Temperatura na ušću bušotine, $t_u$	60 °C
Statički tlak na dubini sredine napucanog razmaka, $P_s$	220 bar
Dinamički tlak na dubini sredine napucanog razmaka, $P_d$	nepoznato
Ležišni plinski faktor, GLR	53 m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup>

a) Statički gradijent tlaka:

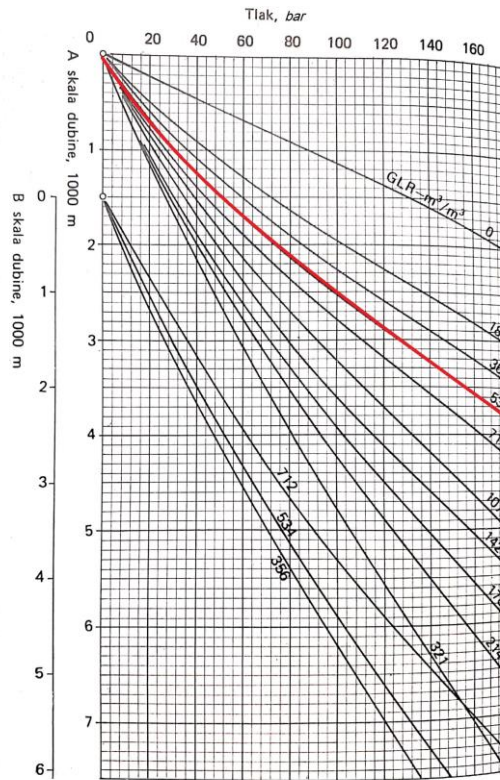
$$G_s = P_s / H_b = 220 / 2000 = 0,11 \text{ bar/m}$$

Krivulja  $G_s$  na slici 3-4. odgovara krivulji za  $GLR=0 \text{ m}^3/\text{m}^3$ .

b) Dinamički tlak na dubini sredine napucanog razmaka:

$$P_d = P_s - Q_o / J = 220 - 75/0,95 = 141,05 \text{ bar}$$

c) Nakon što označimo točku  $P_d$  na dijagramu (slika 3-7), iz nje povlačimo krivlju koju dobivamo iz Gilbertove krivulje gradijenta tlaka (slika 3-4) prateći liniju za  $GLR=53 \text{ m}^3/\text{m}^3$ . Ta linija predstavlja gradijent dinamičkog tlaka ispod točke utiskivanja plina,  $G_d$ ".



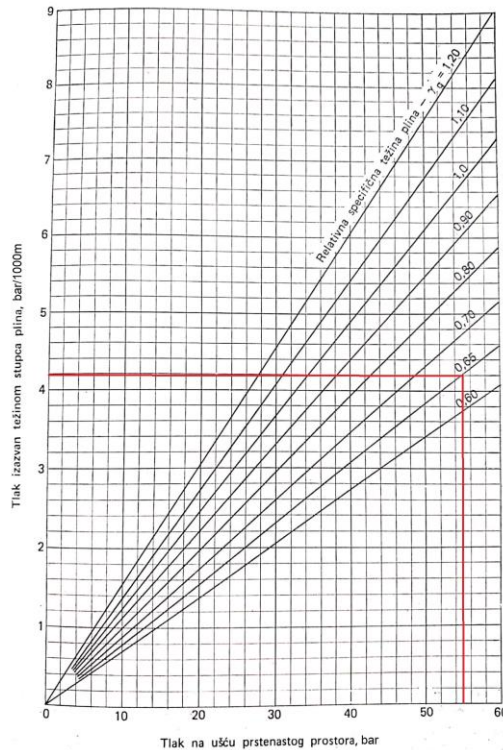
Za uzlazne cijevi  $\varnothing 2,375''$  i količinu dotoka nafte  $Q_o = 64 \text{ m}^3/\text{dan}$

**Slika 3-4.** Gilbertove krivulje gradijenata dinamičkog tlaka u uzlaznim cijevima (Zelić, 1977)

- d) S dijagrama na slici 3-5. očitavamo povećanje tlaka zbog težine stupca plina. Na temelju poznatih vrijednosti relativne gustoće plina,  $\gamma_g = 0,65$ , i vrijednosti radnog tlaka utiskivanja,  $P_u = 55 \text{ bar}$ , očitavamo vrijednost od  $4,2 \text{ bar}/1000 \text{ m}$ . Iz tog podatka jednostavno izračunamo da nam tlak plina na dnu,  $L_u$ ,  $H_b = 2000 \text{ m}$ , iznosi  $63,40 \text{ bar}$ .

$$L_u = 4,2 \times 2 + 55 = 63,40 \text{ bar}$$

Spajanjem točke  $L_u$  i  $P_u$  na površini, dobiva se pravac radnog tlaka utiskivanja plina.



**Slika 3-5.** Dijagram ovisnosti tlaka izazvanog težinom stupca plina o vrijednosti tlaka plina na ušću prstenastog prostora razmatran na 1000 m visine (Zelić, 1977)

- e) Prvi korak pri određivanju dubine smještaja najdonjeg plinskog ventila je ucrtavanje točke presjecišta krivulje  $G_d''$  i pravca radnog tlaka utiskivanja opisanog u prethodnom koraku. Na temelju činjenice da se tlak plina kroz plinski ventil smanjuje za otprilike 7 bara, od te točke presjecišta pomiče se ulijevo za 7 bara po krivulji  $G_d''$ , zatim se iz te točke povlači okomita linija na os koja predstavlja dubinu. Očitana je dubina od 1025 m za najdonji plinski ventil (slika 3-7).
- f) Spajanjem prethodno dobivene točke i zadane vrijednosti za dinamički tlak na odbojniku uzlaznog niza cijevi, dobivamo krivulju koja predstavlja gradijent dinamičkog tlaka iznad točke utiskivanja plina,  $G_d'$ . Ona odgovara krivulji s dijagrama (slika 3-4.). za  $GLR=100 \text{ m}^3/\text{m}^3$  (ekonomični plinski faktor).
- g) Plinski faktor potreban za plinsko podizanje računa se:
 
$$GLR_u = 100 - 53 = 47 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

h) Dnevna količina plina koja je potrebna za učinkovito plinsko podizanje računa se:

$$Q_g = Q_o \times GLR_u = 75 \times 47 = 3525 \text{ m}^3/\text{dan}$$

i) U ovakvom tipu zadatka, slijedeći korak je ucrtavanje "proračunske krivulje tlaka u uzlaznim cijevima" koja povezuje točku utiskivanja plina na razini najdonjeg ventila i vrijednost tlaka na odbojniku uzlaznih cijevi koju uvećavamo za 10-15 bara. U ovom primjeru, dinamičkom tlaku na odbojniku tubinga dodat ćemo 14 bara, tada će gornja točka proračunske krivulje iznositi 24 bara.

j) Iz točke dinamičkog tlaka na ušću,  $P_{tu}$ , povlačimo usporednu liniju s linijom gradijenta statičkog tlaka,  $G_s$ . Sjecište te linije i pravca maksimalnog tlaka utiskivanja određuju dubinu smještaja prvog, najgornjeg, plinskog ventila. Iz točke presjecišta povlačimo okomitu liniju na os koja predstavlja dubinu. U ovom primjeru, očitana je dubina  $L_{v1} = 440 \text{ m}$ .

k) Tamo gdje ta okomita linija siječe krivulju  $GLR=100 \text{ m}^3/\text{m}^3$  nalazi se točka koja predstavlja stvarni dinamički tlak u uzlaznim cijevima. Očitano je:

$$P_{tv1} = 26 \text{ bar}$$

l) Sjecište okomite linije i proračunske krivulje daje vrijednost dinamičkog tlaka u tubingu na razini prvog ventila. Očitano je:

$$P_{tp1} = 37 \text{ bar}$$

m) Sjecište pravca radnog tlaka utiskivanja plina i okomite linije predstavlja tlak utiskivanja na razini prvog ventila. On iznosi:

$$P_{uv1} = 56 \text{ bar}$$

n) Tlak utiskivanja plina na razini ventila određuje se tako što od vrijednosti raspoloživog radnog tlaka oduzmemo oko 5-10 bara. Tlak otvaranja prvog ventila na površini iznosi:

$$P_{op1} = 55 - 5 = 50 \text{ bar}$$

o) Tlak otvaranja prvog ventila dobivamo tako što  $P_{op1}$  uvećamo za vrijednost povećanja tlaka zbog težine stupca plina izračunate pod d). Tlak otvaranja prvog ventila na razini njegove ugradnje iznosi:

$$P_{ovp1} = 50 + (4,19 / 1000) \times 440 = 51,84 \text{ bar}$$

p) Na temelju izračunatih podataka odabire se plinski ventil s mijehom, ispunjen stlačenim plinom, bez opruge, slijedećih karakteristika:

-efektivna površina mijeha  $A_m = 4,94 \text{ cm}^2$

-površina otvora sjedišta  $A_s = 0,33 \text{ cm}^2$

-promjer otvora ventila  $d_v = 0,64 \text{ cm}$

-odnos površina  $R_m = A_s / A_m = 0,067$

q) Tlak u mijehu prvog ventila na razini ugradnje računa se prema formuli:

$$P_{mv1} = P_{ov1} \times (1-R_m) + P_{tp1} \times R_m \quad (3-3)$$

Gdje su:

$P_{mv1}$  – tlak u mijehu prvog ventila na razini njegove ugradnje, bar

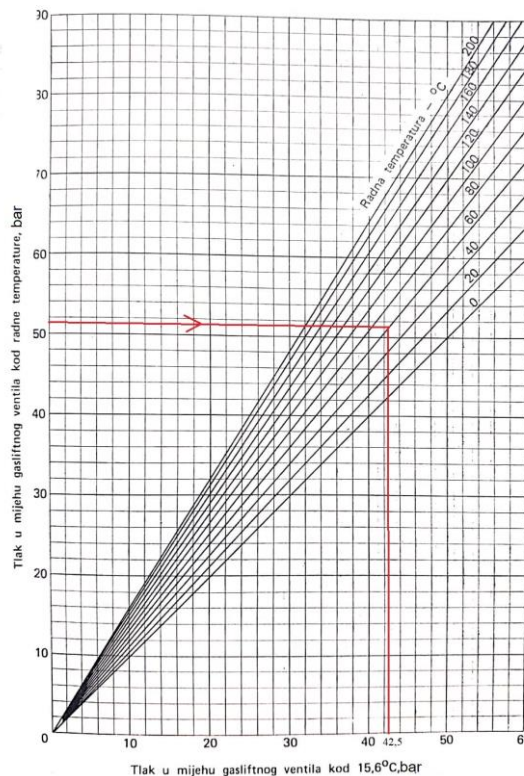
$R_m$  - odnos površine sjedište i efektivne površine mijeha ( $A_s/A_m$ )

$P_{tp1}$  – dinamički tlak u tubing u na razini prvog ventila, bar

$$P_{mv1} = 51,84 \times 0,933 + 2,294 = 50,66 \text{ bar}$$

To je ujedno i tlak zatvaranja prvog ventila na razini ugradnje,  $P_{zv1} = P_{mv1} = 50,85 \text{ bar}$

r) Na slici 3-6. prikazano je očitavanje tlaka u mijehu pri standardnoj temperaturi, odnosno na ispitnom stolu. Taj tlak iznosi:  $P_{ms1} = 42,5 \text{ bar}$ .



**Slika 3-6.** Dijagram ovisnosti tlaka u mijehu plinskog ventila (napunjenog dušikom) pri radnoj temperaturi o tlaku u mijehu pri standardnoj temperaturi (Zelić, 1977)

s) Tlak podešavanja prvog ventila računa se prema formuli:

$$P_{os1} = \frac{P_{ms1}}{1-R_m} \quad (3-4)$$

Gdje su:

$P_{os1}$  – tlak otvaranja prvog ventila u ispitnom stolu, bar

$P_{ms1}$  – tlak u mijehu pri standardnoj temperaturi, bar

$$P_{os1} = \frac{42,5}{0,933} = 45,55 \text{ bar}$$

t) Stvarni tlak otvaranja prvog ventila na razini njegove ugradnje računa se po formuli:

$$P_{ov1} = \frac{P_{mv1} - P_{tv1} \cdot R_m}{1 - R_m} \quad (3-5)$$

Gdje su:

$P_{ov1}$  – stvarni tlak otvaranja prvog ventila na razini ugradnje, bar

$P_{mv1}$  – tlak u mijehu prvog ventila na razini ugradnje, bar

$P_{tv1}$  – stvarni dinamički tlak u uzlaznim cijevima, bar

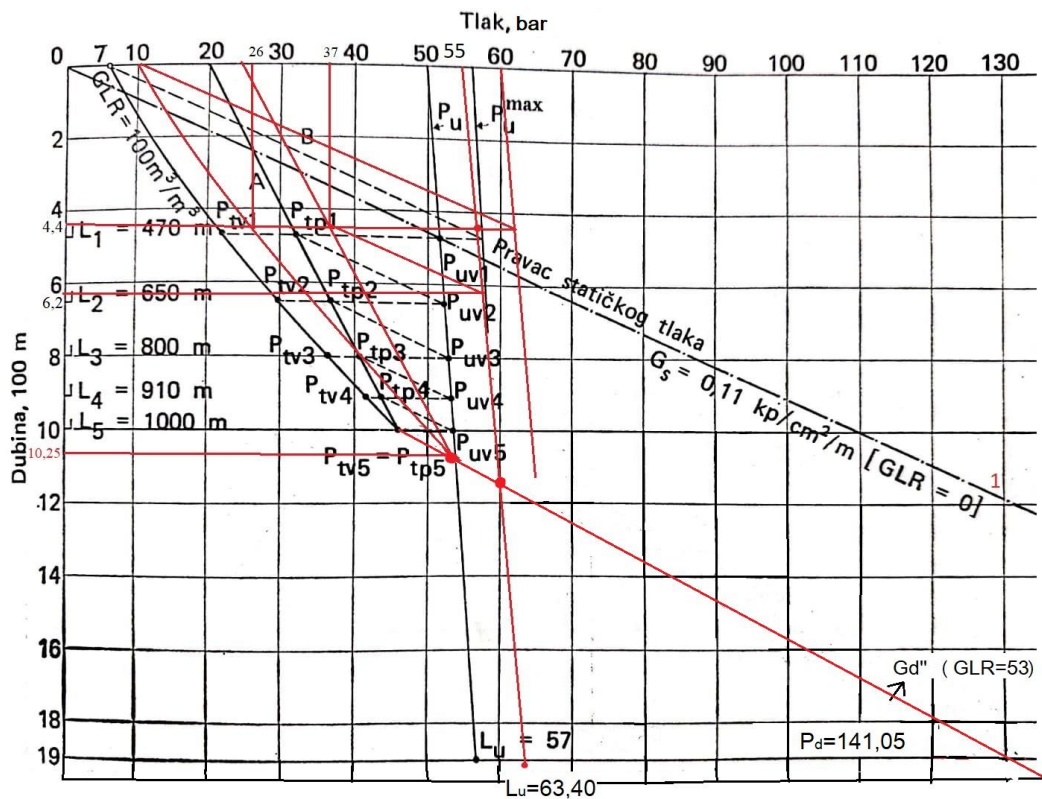
$$P_{ov1} = \frac{50,66 - 26 \times 0,067}{0,933} = 52,43 \text{ bar}$$

u) Tlak utiskivanja na površini potreban da se otvori prvi ventil dobije se tako što od  $P_{ov1}$  oduzmemo veličinu tlaka zbog težine stupca plina u prstenastom prostoru, što iščitamo iz dijagrama (slika 3-5.). Ta vrijednost za prvi plinski ventil na dubini od 440 m iznosi 1,76.

$$P_{ou1} = 52,43 - 1,76 = 50,67 \text{ bar}$$

v) Dubina ugradnje drugog plinskog ventila dobiva se kada se iz presjecišta okomite linije na razini ugradnje prvog plinskog ventila i proračunske krivulje povuče usporedni pravac s pravcem  $G_s$  do presijecanja s pravcem radnog tlaka utiskivanja plina. Očitana je dubina ugradnje drugog plinskog ventila:  $L_{v2} = 620 \text{ m}$ .

Grafičko rješenje svih opisanih koraka prikazano je na dijagramu (slika 3-7.). Postupak proračuna za svaki slijedeći ventil ostaje isti kao što je to prethodno izračunato za prvi plinski ventil. Razlika će biti u koraku n) gdje će se za svaki niži ventil pri računanju tlaka otvaranja ventila na površini od raspoloživog radnog tlaka utiskivanja plina oduzimati za 1 bar više, što bi značilo da bi u proračunu za drugi plinski ventil od  $P_u$  oduzeli 6 bara.



Slika 3-7. Grafičko rješenje proračuna smještaja ventila za neprekidni lift (Zelić, 1977)

#### 4. ZAKLJUČAK

Plinski lift kao mehanička metoda podizanja kapljevine najčešće se primjenjuje kada prirodna energija ležišta nije dovoljna za eruptivni rad bušotine ili ukoliko želimo pridobiti veću količinu kapljevine. Razlog tome je mogućnost primjene pri različitim uvjetima u bušotini. Nепrekidni plinski lift prednjači pred ostalim mehaničkim metodama iz više razloga: jeftinija cijena podzemne opreme, neosjetljivost plinskih ventila na krute čestice (npr. pijesak), visoki GOR ne stvara probleme, već poboljšava učinkovitost neprekidnog plinskog lifta, mogućnost primjene pri malim i velikim dubinama, korištenje iste opreme pri proizvodnji od 15,90 m<sup>3</sup>/dan do 1589,87 m<sup>3</sup>/dan, jednostavnost opremanja bušotine. S druge strane, ova metoda je manje djelotvorna pri proizvodnji teške nafte (<15 °API), pri podizanju manjih volumena fluida zbog mogućnosti proklizavanja plina (gas slippage), nemogućnost primjene u bušotinama s oštećenim zaštitnim cijevima, ako se ne raspolože dovoljnim količinama plina.

Da bi se mogla primijeniti ova metoda podizanja kapljevine, najvažnije je imati dovoljnu količinu plina za utiskivanje jer se neprekidni plinski lift koristi energijom stlačenog plina čija je uloga smanjenje gustoće kapljevine iznad točke utiskivanja. Na taj način povećava se razliku između ležišnog tlaka i dinamičkog tlaka na dnu bušotine, povećanje depresije, koja je primarni uvjet eruptivne proizvodnje. Za utvrđivanje dubine smještaja najdonjeg, radnog, ventila najbitniji su podaci o dinamičkom tlaku i temperaturi. Prvi korak pri razmatranju je li neka bušotina pogodna za neprekidni plinski lift je određivanje maksimalne dubine koju možemo postići s raspoloživim radnim tlakom za utiskivanje plina, koje je količine plina potrebno utisnuti u različitim dubinama i potrebni tlak utiskivanja pri minimalnom odnosu plina i kapljevine. Proračunom smještaja plinskih ventila prikazano je kako se na jednostavan grafički način određuje dubina ugradnje pojedinog ventila, međuovisnost karakteristika bušotine te kako bi se ta dubina mijenjala promjenom istih. Na temelju ovog rada može se zaključiti kako je neprekidni plinski lift proces kontrole gradijenta tlaka stupca kapljevine. Najbitniji podaci koji pokazuju ispravnost ovakvog sustava su: davanje bušotine, dnevna količina plina koja se utiskuje u bušotinu, tlak plina u utisnom plinovodu, statički i dinamički tlak na dnu bušotine, gustoća nafte, vode i plina.



## 5. LITERATURA

1. GAS LIFT, 2020. – Heriot-Watt University, Department of Petroleum Engineering, Heriot-Watt University
2. PERIĆ, M., 2007. Englesko-hrvatski enciklopedijski rječnik istraživanja i proizvodnje nafte i plina. Zagreb: INA Industrija nafte d.d.
3. TURKALJ, I., BUDIMIĆ, R., 2009. Katalog opreme za plinsko podizanje nafte, INA d.d.
4. ZELIĆ, M., 1977. Tehnologija pridobivanja nafte i plina eruptiranjem i gasliftom, INA-NAFTAPLIN, Zagreb
5. ZELIĆ, M. 1986. Priručnik za plinski lift, izd. INA-NAFTAPLIN, KADROVSKA SLUŽBA, CENTAR ZA OBRAZOVANJE

## IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj završni rad pod naslovom „Dimenzioniranje podizanja kapljevine neprekidnim plinskim liftom određivanjem dubine smještaja ventila“ izradio samostalno na temelju znanja stečenih na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu služeći se navedenom literaturom.

Borna Oreč

Borna Oreč



KLASA: 602-04/21-01/197  
URBROJ: 251-70-12-21-2  
U Zagrebu, 20.9.2021.

**Borna Oreč, studentica**

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/21-01/197, URBROJ: 251-70-12-21-1 od 11.5.2021. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

### DIMENZIONIRANJE PODIZANJA KAPLJEVINE NEPREKIDNIM PLINSKIM LIFTOM ODREĐIVANJEM DUBINE SMJEŠTAJA VENTILA

Za voditelja ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada  
Izv.prof.dr.sc. Vladislav Brkić nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Voditelj:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Vladislav Brkić

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Vladislav Brkić

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Dalibor  
Kuhinek

(titula, ime i prezime)