

# Podizanje kapljevine primjenom povremenog plinskog lifta

---

**Perković, Luka**

**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:169:785261>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-10-14**



*Repository / Repozitorij:*

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



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

**PODIZANJE KAPLJEVINE PRIMJENOM POVREMENOG  
PLINSKOG LIFTA**

Završni rad

Luka Perković

N4356

Zagreb, 2021.

PODIZANJE KAPLJEVINE PRIMJENOM POVREMENOG PLINSKOG LIFTA

LUKA PERKOVIĆ

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

Sažetak

Pridobivanje kapljevine plinskim podizanjem jedna je od učestalih mehaničkih metoda. Kako bi se omogućilo davanje bušotine u slučaju niskog indeksa proizvodnosti ležišta, koristi se metoda podizanja kapljevine povremenim plinskim liftom. Kako bi se rad ovakvog načina pridobivanja mogao primjeniti potrebno je poznavati dijelove sustava povremenog plinskog lifta kao i mehanizam rada istog. Zadatak ovog završnog rada je na temelju proračuna opisati postupak dimenzioniranja rada plinskih ventila (dubina ugradnje, raspon djelovanja, tj. tlakove otvaranja i zatvaranja) u cilju učinkovitog iznošenja fluida.

Ključne riječi: Plinski lift, povremeni plinski lift, ventili za plinski lift, raspon djelovanja plinskih ventila

Završni rad sadrži: 34 stranice, 1 tablicu, 9 slika i 8 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: 17.9.2021., 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>POPIS KORIŠTENIH KRATICA.....</b>	<b>V</b>
<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. POVREMENI PLINSKI LIFT.....</b>	<b>3</b>
2.1. Konstrukcija nadzemnog dijela postrojenja povremenog plinskog lifta.....	3
2.2. Radni ciklus povremenog plinskog lifta.....	4
<b>3. VENTILI ZA PLINSKO PODIZANJE.....</b>	<b>7</b>
3.1. Mehanizam rada ventila za plinsko podizanje .....	7
3.2. Ravnoteža sila koje djeluju na plinske ventile .....	8
3.2.1. Ventil s mijehom ispunjenim stlačenim plinom, bez opruge .....	8
3.2.2. Plinski ventili s oprugom i mijehom napunjenim nestlačenom kapljevinom .....	13
3.2.3. Krmilni (pilot) plinski ventili (engl. pilot operated valves).....	15
3.2.4. Raspon djelovanja plinskih ventila .....	17
<b>4. POSTUPAK ANALITIČKOG PRORAČUNA POVREMENOG PLINSKOG LIFTA .....</b>	<b>20</b>
<b>5. ANALITIČKI PRORAČUN POVREMENOG PLINSKOG LIFTA.....</b>	<b>25</b>
5.1. Proračun prvog plinskog ventila.....	26
5.2. Proračun drugog plinskog ventila .....	27
5.3. Proračun trećeg plinskog ventila .....	28
5.4 Proračun podizanja.....	30
<b>6. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>33</b>
<b>7. POPIS LITERATURE .....</b>	<b>34</b>

## POPIS SLIKA

<b>Slika 2-1.</b> Nadzemni sustav povremenog plinskog lifta.....	4
<b>Slika 2-2.</b> Prikaz radnog ciklusa povremenog plinskog lifta .....	6
<b>Slika 3-1.</b> Shematski prikaz ventila s mijehom ispunjenim stlačenim plinom .....	9
<b>Slika 3-2.</b> Presjek mijeha ventila u otvorenom i zatvorenom stanju.....	11
<b>Slika 3-3.</b> Shematski prikaz ventila s oprugom i mijehom ispunjenim kapljevnom.....	14
<b>Slika 3-4.</b> Shematski prikaz krmilnog („pilot“) plinskog ventila.....	16
<b>Slika 4-1.</b> Dijagram ovisnosti tlaka izazvanog težinom stupca plina o vrijednosti tlaka plina na ušću u prstenastom prostoru, na 1000m dubine.....	21
<b>Slika 4-2.</b> Dijagram ovisnosti tlaka u mijehu plinskog ventila pri radnoj temperaturi o tlaku pri standardnoj temperaturi.....	22
<b>Slika 4-3.</b> Faktor smještaja ventila u ovisnosti o davanju bušotine i promjeru tubinga.....	24

## POPIS TABLICA

<b>Tablica 5-1.</b> podaci o bušotini „X“ .....	25
---	----

## POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I PRIPADAJUĆIH SI JEDINICA

Oznaka	Jedinica	Opis
$F_{zv}$	N	Sila koja drži ventil zatvorenim
$p_{mv}$	bar	Tlak u mijehu pri uvjetima u bušotini
$A_m$	$m^2$	Efektivna površina mijeha
$F_{ov}$	N	Sila potrebna za otvaranje ventila
$p_{uv}$	bar	Tlak utiskivanja plina na razini ventila
$A_s$	$m^2$	Površina sjedišta ventila
$p_{tv}$	bar	Tlak u tubingu na razini ventila
$R_m$	-	Omjer površine sjedišta ventila i površine mijeha
$p_o$	bar	Tlak otvaranja ventila, kad je tlak u uzlaznim cijevima jednak nuli
$p_z$	bar	Tlak zatvaranja ventila, kad je tlak u uzlaznim cijevima jednak nuli
$Q_{gv}$	$m^3/dan$	Propusna moć plinskog ventila
$m$	-	Karakteristika nagiba krivulje prigušivanja ventila
$p_{tf}$	bar	Tlak u tubingu kod osvajanja bušotine na razini gornjeg ventila u trenutku njegova otvaranja
$p_{tv}$	bar	Tlak u tubingu na razini plinskog ventila
$c$	402,75	Pretvorbeni faktor
$F_{opr}$	N	Sila opruge ventila
$S_p$	Pa	Raspon djelovanja ventila
$L_v$	m	Dubina ugradnje ventila
$p_u^{max}$	bar	Maksimalni tlak utiskivanja plina, mjereno na ušću
$p_{tu}$	bar	Dinamički tlak na ušću
$\gamma_g$	-	Relativna gustoća plina
$\gamma_o$	-	Relativna gustoća nafte
$\gamma_k$	-	Relativna gustoća kapljevine
$G_s$	bar/m	Gradijent statičkog stupca kapljevine u tubingu
$T_v$	$^{\circ}C$	Temperatura na razini ugradnje ventila
$T_u$	$^{\circ}C$	Temperatura na ušću bušotine

$T_d$	°C	Temperatura na dnu bušotine
$H_b$	m	Dubina bušotine
$F_s$	bar/m	Faktor smještaja plinskog ventila
$p_{ov}$	bar	Tlak otvaranja ventila na razini njegove ugradnje
$p_{zv}$	bar	Tlak zatvaranja ventila na razini njegove ugradnje
$V'_t$	m <sup>3</sup>	Unutarnji volumen jednog metra tubinga
$\bar{p}_t$	bar	Prosječan tlak u tubingu tijekom podizanja kapljevine
$T_a$	273,15 K	Apsolutna temperatura
$p_a$	1,01325 bar	Atmosferski tlak
$\bar{T}$	K	Prosječna temperatura u bušotini
$Z$	-	Faktor stlačivosti plina
$F'_b$	-	„Fall back“ faktor na 100 metara podizanja kapljevine
$Q_g$	m <sup>3</sup> /ciklus	Količina plina potrebna za podizanje tijekom jednog ciklusa
$q_k$	m <sup>3</sup> /ciklus	Količina kapljevine iznesena na površinu tijekom jednog ciklusa
GLR	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	Plinski faktor kapljevine
$V_{sp}$	m <sup>3</sup>	Volumen početnog stupca kapljevine
$H_{sk}$	m	Duljina početnog stupca kapljevine
$t_c$	min	Vrijeme trajanje jednog ciklusa na 100 metara podizanja
$Q_k^{max}$	m <sup>3</sup> /dan	Maksimalno moguće davanje bušotine
$t$	min	Ukupno vrijeme trajanja ciklusa
$n_c$	ciklus/dan	Ukupan broj ciklusa po danu
$Q_{gd}$	m <sup>3</sup> /dan	Ukupna dnevna količina plina potrebna za podizanje kapljevine



## POPIS KORIŠTENIH KRATICA

GLR (engl. <i>gas-liquid ratio</i> )	Plinski faktor u kapljevini
--------------------------------------	-----------------------------

## 1. UVOD

Proces eksploatacije ugljikovodika sastoji se od nekoliko zasebnih procesa; istražnog bušenja na određenom području, te u slučaju komercijalnog otkrića slijedi testiranje i opremanje bušotina s ciljem puštanja polja u proizvodnju. Na početku životnog vijeka bušotine za proizvodnju se koristi energija ležišta, odnosno razlika tlaka u ležištu i dinamičkog tlaka na dnu bušotine (postizanjem depresije). Zbog depresije fluid pritječe iz ležišta u bušotinu uz svladavanje hidrauličkih otpora u uzlaznim cijevima (engl. *tubing*) (Perić, 2007) prema površini te pri protjecanju u vodoravnom (priključnom) cjevovodu na površini. Crpljenjem ležišta tlak ležišta postaje manji i kada se toliko smanji da se više ne može eruptivno pridobivati fluid iz bušotine koristeći energiju ležišta, ili kad se pridobiva premala količina fluida, kreće se u primjenu mehaničkih metoda podizanja kapljevine. Postoji nekoliko mehaničkih metoda podizanja kapljevine, a odabir metode ovisi o uvjetima u bušotini (svojstvu ležišta i fluida, davanju bušotine, potrebnoj infrastrukturi) te o troškovima primjene određene metode i podizanja kapljevine. Jedna od mehaničkih metoda podizanja kapljevine je plinski lift koja je uz dubinske sisaljke na klipnim šipkama jedna od najzastupljenijih na hrvatskim proizvodnim poljima (Brkić, 2019).

Plinski je lift metoda u kojoj se koristi stlačeni plin s površine koji se utiskuje kroz prstenasti prostor u uzlazne cijevi (*tubing*) kroz ventil za plinsko podizanje na određenoj dubini. Plin povećava plinski faktor (engl. *gas-liquid ratio – GLR*) iznad ventila te smanjuje dinamički tlak na razini ležišta, što povećava depresiju, odnosno razliku ležišnog i dinamičkog tlaka. To omogućava svladavanje hidrauličkih otpora u uzlaznim cijevima te pritjecanje fluida prema ušću. Postoje dvije vrste plinskog lifta prema načinu utiskivanja plina: neprekidni ili kontinuirani plinski lift (engl. *continuous gas lift*) te povremeni plinski lift (engl. *intermittent gas lift*). Neprekidni plinski lift podrazumijeva stalno utiskivanje plina iz prstenastog prostora u *tubing* na nekoj dubini, dok povremeni plinski lift podrazumijeva utiskivanje plina iz prstenastog prostora u *tubing* u određenim intervalima (Takács, 2005). Kao i svaka drugi sustav rada, plinski lift ima svoje prednosti i nedostatke. Sustav plinskog lifta iznimno je prilagodljiv obzirom na količinu i visinu dizanja kapljevine. Dobar je za primjenu u bušotinama s visokim plinskim faktorom, a abrazivne tvari uglavnom ne utječu na efikasnost plinskog lifta. Također, cijenom je jeftiniji, odnosno početna cijena ulaganja za opremanje plinskim liftom je manja nego kod drugih metoda. S druge strane, plinski lift

je metoda koja zahtjeva od operatora da posjeduje plin za utiskivanje. Prema tome, kao metoda nije primjenjiva ukoliko operator nema dovoljno plina na raspolaganju (Schlumberger, 2000). Kroz ovaj završni rad razmotrit će se konstrukcija i svojstva povremenog plinskog lifta te primjer proračuna kojim se dimenzionira sustav povremenog plinskog podizanja kapljevine.

## 2. POVREMENI PLINSKI LIFT

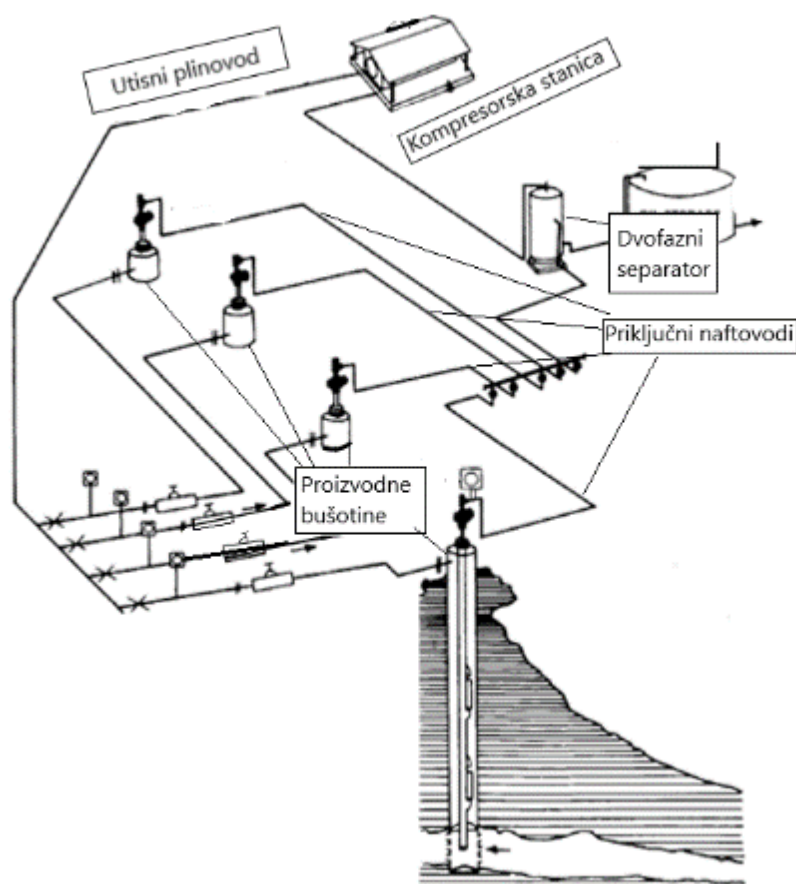
Povremeni plinski lift mehanička je metoda podizanja ležišnih fluida, koja se koristi u slučaju kada ležište ima niski indeks proizvodnosti. Sustav povremenog plinskog podizanja ležišnih fluida, kako mu i ime govori, proizvodi fluid povremeno, odnosno u određenim vremenskim intervalima. Kod povremenog plinskog lifta dolazi do nakupljanja velikog volumena fluida u tubing u pri dnu bušotine. Periodički, u tubing se utisne veliki volumen plina pod visokim tlakom ispod stupca ležišnog fluida, koji onda podiže nakupljeni volumen fluida prema površini (HWU, 2020).

### 2.1. Konstrukcija nadzemnog dijela postrojenja povremenog plinskog lifta

Općenito, sustav plinskog lifta sastoji se od nekoliko dijelova (Zelić, 1977):

- 1) Izvora stlačenog plina – to može biti ili kompresor na površinskom postrojenju, ili plinske bušotine izrađene u blizini bušotine u kojoj primjenjujemo plinski lift;
- 2) Sustava utisnog plinovoda pod visokim tlakom;
- 3) Prstenastog prostora;
- 4) Dubinske opreme, za regulaciju utiskivanja plina (vretena i ventili za plinski lift);
- 5) Sabirnog sustava, koji se sastoji od priključnih naftovoda koji vode od bušotine do separatora, kao i plinovoda koji odvede plin iz separatora do kompresora kako bi se mogao ponovno koristiti.

Na slici 2-1. prikazan je nadzemni sustav povremenog plinskog lifta.

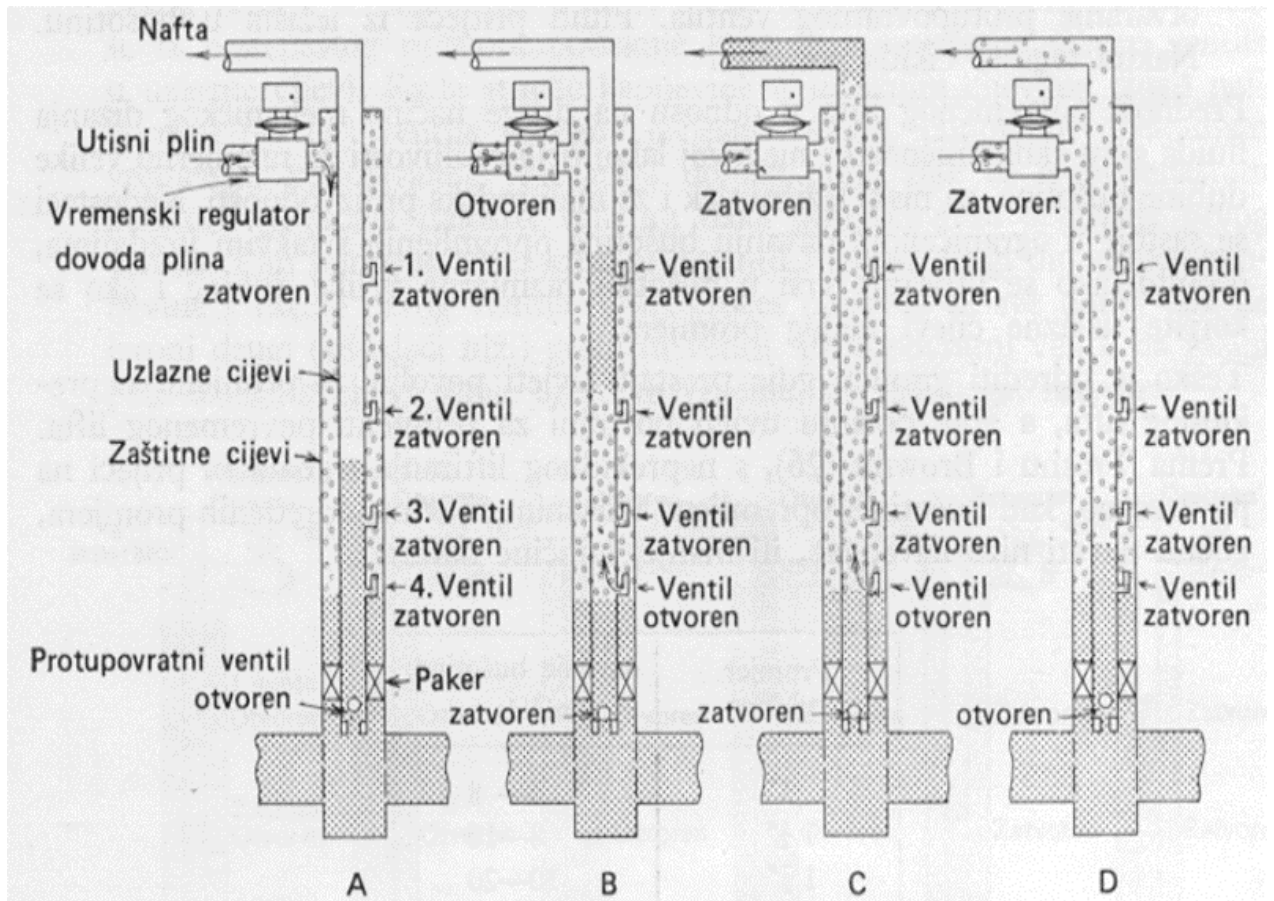


**Slika 2-1.** Nadzemni sustav povremenog plinskog lifta (API Gas lift manual, 1994)

## 2.2. Radni ciklus povremenog plinskog lifta

Kod povremenog plinskog lifta stlačeni se plin utiskuje u relativno velikim količinama u određenim intervalima iz prstenastog prostora u uzlazne cijevi. Dio sustava plinskog lifta je i dubinska oprema, odnosno ventili i vretena. Ventili za povremeni plinski lift rađeni su tako da mogu omogućiti ulazak relativno velikih količina plina iz prstenastog prostora u uzlazne cijevi u malom vremenu. U trenutku ulaska plina u uzlazne cijevi (trenutak otvaranja ventila), plin zahvaća stupac kapljevine i relativno velikom brzinom diže tu kapljevinu do površine. Rad samog povremenog plinskog lifta promatra se kao radni ciklus plinskog lifta. Radni je ciklus plinskog lifta ciklus koji se sastoji od 4 zasebne faze. U prvoj je fazi (slika 2.2 A) protupovratni ventil na dnu uzlaznih cijevi (peta uzlaznih cijevi) otvoren, zbog čega fluid protječe u kolonu uzlaznih cijevi iz ležišta, a regulator dovoda plina, kao i svi ventili za plinski lift, je zatvoren. U drugoj fazi (slika 2.2 B) regulator dovoda plina

je otvoren te se plin utiskuje u prstenasti prostor sve do porasta tlaka do one vrijednosti koja uzrokuje otvaranja radnog ventila, a to za posljedicu ima ulazak stlačenog plina u uzlazne cijevi. Potom plin ekspandira i relativno velikom brzinom počine kretanje stupca kapljevine prema gore. Protupovratni ventil u tom trenutku mora biti zatvoren kako se ne bi gubila kapljevina iz ležišta, jer je tlak u tubingu sada veći od ležišnog. Treća faza (slika 2.2 C) vrijeme je pridobivanja kapljevine na površinu, odnosno ona započinje krajem druge faze, a završava iznošenjem stupca kapljevine na površinu. U njoj je regulator dovoda plina zatvoren, dok radni ventil ostaje otvoren do trenutka kada stupac kapljevine izađe na površinu. Tlak u prstenastom prostoru postupno opada, sve do one vrijednosti koja je niža o vrijednosti tlaka zatvaranja radnog ventila. U tom trenutku radni ventil se zatvara. Ranije spomenuti protupovratni ventil ostaje zatvoren sve dok vrijednost tlaka u tubingu ne padne ispod vrijednosti ležišnog tlaka. U zadnjoj fazi radnog ciklusa plinskog lifta (slika 2.2 D) utisnuti plin istišće stupac kapljevine iz tubinga u odvodni naftovod. Tako se smanjuje tlak u tubingu i otvara se protupovratni ventil. Na samom kraju ciklusa fluid utječe iz ležišta u tubing, zbog razlike tlaka ležišta i tlaka u bušotini (Zelić, 1977).



Slika 2-2. Prikaz radnog ciklusa povremenog plinskog lifta (Zelić, 1977)

### 3. VENTILI ZA PLINSKO PODIZANJE

#### 3.1. Mehanizam rada ventila za plinsko podizanje

Plinski ventili se koriste za regulaciju utiskivanja plina iz prstenastog prostora u tubing. Da bi se bušotina opremljena plinskim liftom mogla pokrenuti čak i kad je hidrostatski tlak na razini utiskivanja veći od tlaka koji se utiskivanjem može postići, upotrebljavaju se ventili za plinski lift, koji se u tom slučaju nazivaju rasteretnim ventilima. Broj ugrađenih ventila za rasterećenje ovisi o slijedećim čimbenicima (Zelić, 1977):

- a) o konačnoj dubini točke utiskivanja plina,
- b) o specifičnoj težini kapljevine koja se podiže,
- c) o tlaku za utiskivanje plina s kojim se raspolaže na površini,
- d) o tlaku na ušću za vrijeme rasterećivanja.

Plinski ventil koji se nalazi na radnoj razini kapljevine, odnosno na točki u kojoj se trenutno utiskuje plin, naziva se radnim ventilom (Zelić, 1977) Taj ventil je najčešće onaj ventil najbliži ležištu, odnosno na najvećoj dubini.

Prema izvedbi, plinske ventili se mogu podijeliti na (Zelić, 1977):

- a) ventil s mijehom ispunjenim stlačenim plinom (najčešće dušikom) bez opruge,
- b) ventile s mijehom napunjenim odgovarajućom nestlačenom kapljevinom i oprugom i
- c) ventile opremljene mijehom ispunjenim stlačenim plinom i oprugom.

Prema mjestu djelovanja tlaka, plinski ventili se dijele na (Zelić, 1977):

- a) ventile koji reagiraju na tlak u prstenastom prostoru,
- b) ventile koji reagiraju na tlak u uzlaznim cijevima i
- c) diferencijalne plinske ventile.

U praksi se najčešće koriste ventili s mijehom koji su ispunjeni stlačenim dušikom i ventili s mijehom i oprugom ispunjeni nestlačenom kapljevinom.



Glavni dijelovi plinskih ventila, koji su ujedno i glavni elementi za podešavanje njihova otvaranja i zatvaranja, jesu (Zelić, 1977):

- mijeh plinskog ventila,
- opruga plinskog ventila i
- sjedište plinskog ventila.

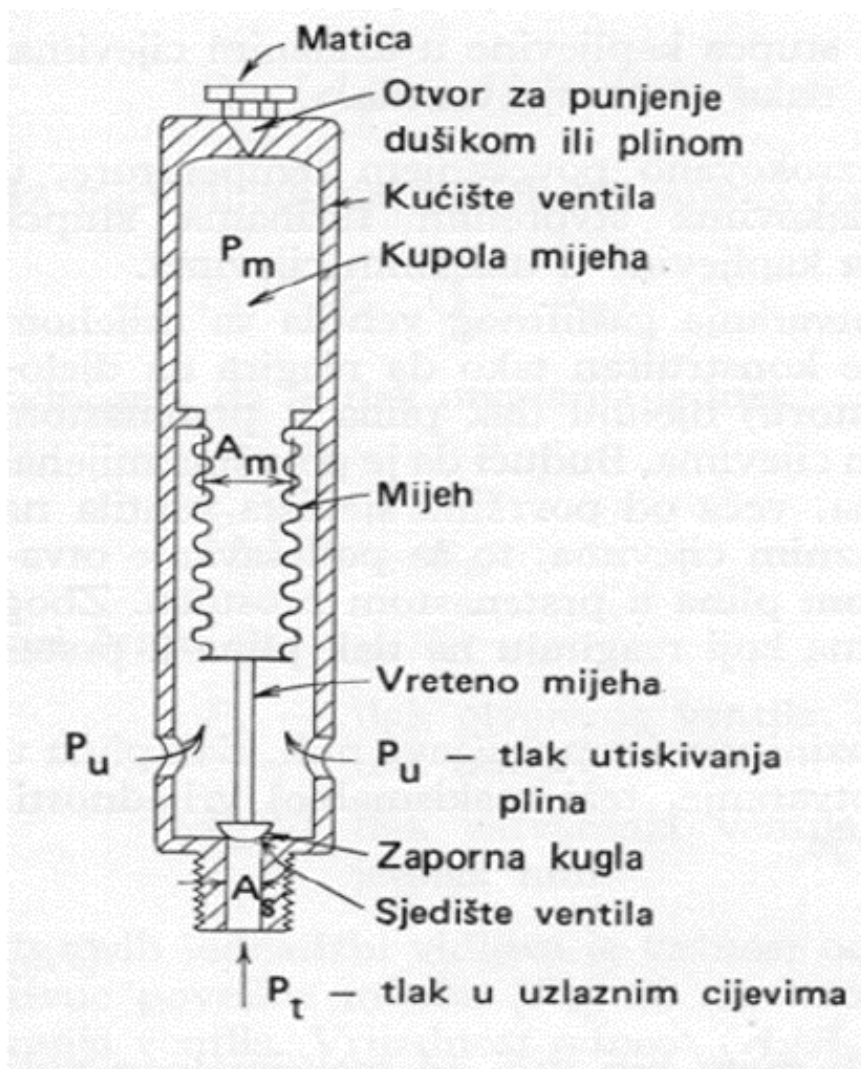
Kod plinskih ventila s mijehom ispunjenim stlačenim plinom, najčešći plin koji se koristi je dušik. Razlog tomu je da je on nezapaljiv, nije osjetljiv na promjenu temperature i nema korozivno djelovanje. Mijeh je načinjen od monell metala (Slitina 68% Ni, 2,5% Fe, 1,5% Mn i 28% Cu), spiralnog je oblika i naborane izvedbe (Zelić, 1977) Mijeh ventila se dodatno štiti od preopterećenja, radi očuvanja njegovih radnih svojstava. Zaštita mijeha može biti hidraulička, primjenom otpornih „o“-prstenova i izoliranjem mijeha od utjecaja tlaka izvana (Zelić, 1977).

### 3.2. Ravnoteža sila koje djeluju na plinske ventile

Ravnoteža sila koje djeluju na plinske ventile je ono stanje sila, u kojem su sile koje drže ventil zatvorenim i sile koje su potrebne za otvaranje ventila jednake.

#### 3.2.1. Ventil s mijehom ispunjenim stlačenim plinom, bez opruge

Ventil se sastoji od kupole mijeha, mijeha, vretena mijeha s kuglastim ili stožastim završetkom te sjedišta ventila. Na slici 3-1. nalazi se shematski prikaz ventila s mijehom ispunjenim stlačenim plinom, a na slici 3-2. prikazan je presjek mijeha ventila u trenutku otvaranja i zatvaranja.



**Slika 3-1.** Shematski prikaz ventila s mijehom ispunjenim stlačenim plinom (Zelić, 1977)

Sila zatvaranja ventila izražava se :

$$F_{zv} = p_{mv} \cdot A_m \quad (3-1)$$

U kojoj su:

$F_{zv}$  – sila koja drži ventil zatvorenim, N

$p_{mv}$  – tlak u mijehu pri uvjetima u bušotini, bar

$A_m$  – efektivna površina mijeha, m<sup>2</sup>

Sila koja je potrebna za otvaranje ventila jednaka je:

$$F_{ov} = p_{uv} \cdot (A_m - A_s) + p_{tv} \cdot A_s \quad (3-2)$$

Gdje su :

$F_{ov}$  – sila potrebna za otvaranje ventila, N

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

$A_s$  – površina sjedišta ventila, m<sup>2</sup>

$p_{tv}$  – tlak u uzlaznim cijevima na razini ventila, bar.

Izjednačavanjem ove dvije sile, tj. postavljanjem ravnoteže, dobiva se:

$$p_{mv} \cdot A_m = F_{ov} = p_{uv} \cdot (A_m - A_s) + p_{tv} \cdot A_s \quad (3-3)$$

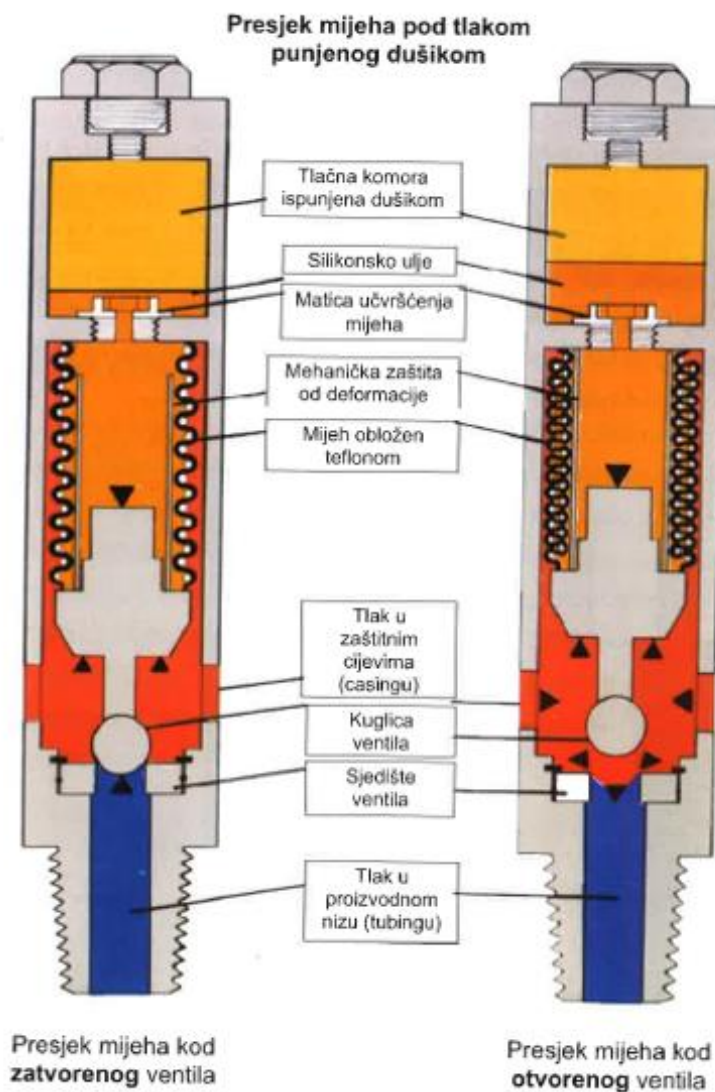
Ukoliko se pretpostavi da je tlak utiskivanja plina jednak tlaku otvaranja ventila, tada je tlak otvaranja ventila jednak :

$$p_{ov} = \frac{p_{mv}}{1 - \frac{A_s}{A_m}} - p_{tv} \cdot \frac{\frac{A_s}{A_m}}{1 - \frac{A_s}{A_m}} = \frac{p_{mv} - p_{tv} \cdot R_m}{1 - R_m} \quad (3-4)$$

Gdje je:

$$R_m = A_s/A_m$$

$R_m$  je odnos površine sjedišta i efektivne površine mijeha; on je veoma važan čimbenik za odnos tlakova otvaranja i otvaranja ventila. Zato ga treba uzeti u razmatranje pri proračuna plinskog lifta, a posebno kad se u istoj bušotini upotrebljavaju različite vrste ventila s različitim otvorima sjedišta (Zelić, 1977).



**Slika 3-2.** Presjek mijeha ventila u otvorenom i zatvorenom stanju (Turkalj i Budimić, 2009)

Na temelju navedenih jednadžbi može se zaključiti da je tlak otvaranja ventila na razini njegove ugradnje promjenjiva veličina, koja ovisi o (Zelić, 1977):

- a) temperaturi, koja uzrokuje da je tlak otvaranja ventila u bušotini veći nego što je tlak potreban za njegovo otvaranje na površini pri standardnoj temperaturi;
- b) tlaku stvorenom težinom stupca plina u prstenastom prostoru, uslijed kojeg se ventil u bušotini otvara pri nešto nižem tlaku i
- c) tlaku stvorenom težinom stupca kapljevine u uzlaznim cijevima, koji djeluje na smanjenje tlaka otvaranja ventila.

Na otvaranje plinskog ventila s mijehom napunjenim stlačenim plinom djeluju tlak plina u prstenastom prostoru i tlak stupca fluida u tubinguu. Budući da je površina mijeha, na koju djeluje tlak utiskivanog plina, veća od površine sjedišta ventila na koju djeluje tlak stupca fluida u uzlaznim cijevima, regulacija otvaranja i zatvaranja se vrši uglavnom tlakom plina u prstenastom prostoru. Zbog toga se ovi ventili nazivaju ventilima koji reagiraju na tlak plina u prstenastom prostoru (Zelić, 1977).

Kad se tlak u tubinguu na razini ventila približava nuli, tlak plina u prstenastom prostoru, potreban za otvaranje, teži maksimalnoj vrijednosti. Tada je (Zelić, 1977):

$$p_{ov,max} = \frac{p_{mv}}{1-R_m} \quad (3-5)$$

Pri uvjetima zatvaranja, tlak u mijehu mora biti veći od maksimalnog radnog tlaka utiskivanja, tj. tlak zatvaranja je (Zelić, 1977):

$$p_{zv,max} = p_{uv,max} \cdot (1 - R_m) \quad (3-6)$$

U slučaju da je tlak u uzlaznim cijevima jednak nuli ( $p_{tv} = 0$ ), tlakovi otvaranja i zatvaranja ventila se računaju pomoću jednadžbe ravnoteže koja je ranije postavljena :

$$p_o \cdot (A_m - A_s) = p_z \cdot A_m \quad (3-7)$$

Iz toga proizlazi tlak zatvaranja :

$$p_z = p_o \cdot (1 - R_m) \quad (3-8)$$

I tlak otvaranja ventila :

$$p_o = p_z / (1-R_m) \quad (3-9)$$

Pri čemu su (Zelić, 1977) :

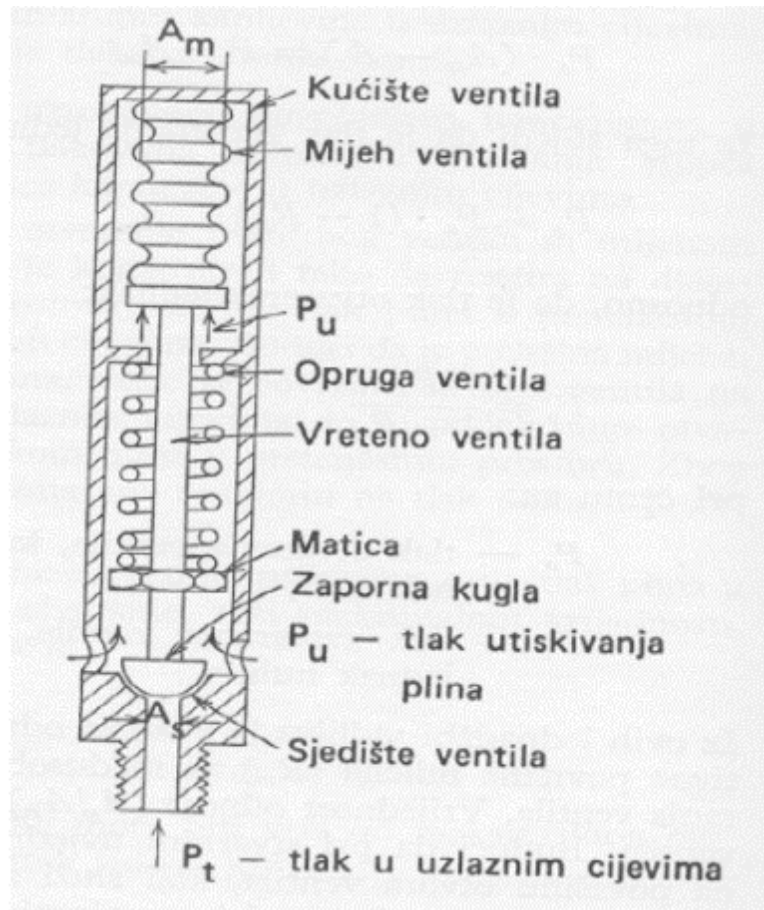
$p_o$  – tlak otvaranja ventila, kad je tlak u uzlaznim cijevima jednak nuli;

$p_z$  – tlak zatvaranja ventila, kad je tlak u uzlaznim cijevima jednak nuli.

Iz ovih jednadžbi vidljiva je važnost koeficijenta površina sjedišta ventila i efektivne površine mijeha ( $R_m$ ) za međusobni odnos tlakova otvaranja i zatvaranja ventila (Zelić, 1977). U realnim uvjetima tlak u tubingu djeluje na površinu otvora ventila, koji služi za propuštanje plina. To znači da je tlak otvaranja ventila svojom veličinom obrnuto proporcionalan tlaku u tubingu, odnosno u slučaju povećanja tlaka u tubingu, tlak otvaranja ventila se smanjuje.

### *3.2.2. Plinski ventili s oprugom i mijehom napunjenim nestlačenom kapljevnom*

Za razliku od prethodnog plinskog ventila, kod ovog ventila glavni je element za regulaciju tlaka opruga. Mijeh nije pod tlakom i samo je ispunjen odgovarajućom kapljevnom. Na slici 3-3. shematski je prikazana konstrukcija ovog ventila.



**Slika 3-3.** Shematski prikaz ventila s oprugom i mijehom ispunjenim kapljevnom (Zelić, 1977)

Propusna moć ovog ventila izražava se jednačbom (Zelić, 1977):

$$Q_{gv} = m \cdot (p_{tf} - p_{tv}) \cdot c \quad (3-10)$$

Gdje su :

$Q_{gv}$  – propusna moć plinskog ventila,  $m^3/dan$ ;

$m$  – karakteristika nagiba krivulje prigušivanja ventila. Onda je obično različita za različite vrste ventila, a kreće se u granicama 0,7 do 8,0. Ovaj faktor se nalazi u sastavu specifikacije ventila, koju daje proizvođač;

$p_{tf}$  – tlak u tubingu kod osvajanja bušotine neprekidnim plinskim liftom na razini gornjeg ventila u trenutku njegova otvaranja, odnosno izronjavanja sljedećeg, bar;

$p_{tv}$  - tlak u tubingu na razini plinskog ventila, pri kojem se on zatvara, bar;

$c$  – pretvorbeni faktor = 402,75

Maksimalna količina plina koju ventil ove konstrukcije može propustiti, ovisi o tlaku utiskivanja plina na razini ventila i minimalnom tlaku stupca kapljevine u tubingu na istoj razini (Zelić, 1977).

Jednadžbe ravnoteže mogu se izraziti kao :

$$F_{opr} = p_{uv} \cdot (A_m - A_s) + p_{tv} \cdot A_s \quad (3-11)$$

Gdje je:

$F_{opr}$  - sila opruge ventila, N

U trenutku zatvaranja ventila, tlak utiskivanja plina i tlak u uzlaznim cijevima na razini ventila su jednaki. Oni po veličini odgovaraju sili opruge, tj. tlaku zatvaranja (Zelić, 1977).

U uvjetima pri kojim je tlak utiskivanja plina na razini ventila jednak tlaku u tubingu i tlaku zatvaranja na toj razini, gornja jednadžba može glasiti (Zelić, 1977):

$$F_{opr} = p_{zv} \cdot (A_m - A_s) + p_{zv} \cdot A_s = p_{zv} \cdot A_m \quad (3-12)$$

Iz toga :

$$p_{zv} \cdot A_m = p_{uv} \cdot (A_m - A_s) + p_{tv} \cdot A_s \quad (3-13)$$

Tlak zatvaranja na razini ventila iznosi:

$$p_{zv} = p_{uv} - R_m \cdot (p_{uv} - p_{tv}) \quad (3-14)$$

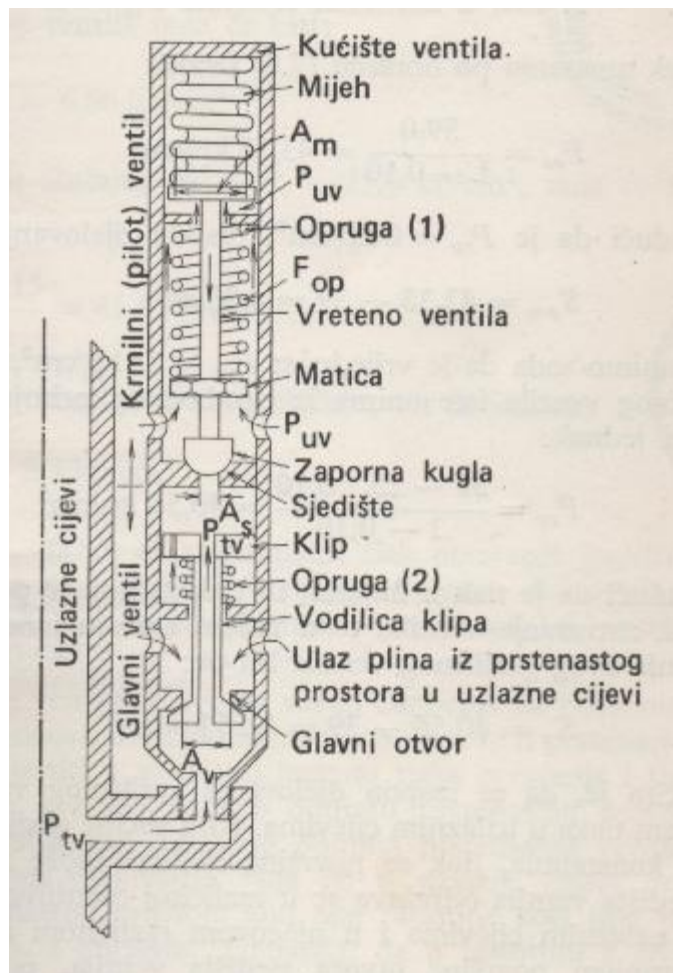
### 3.2.3. Krmilni (pilot) plinski ventili (engl. pilot operated valves)

Za razliku od prethodne dvije vrste ventila, ovaj se ventil koristi isključivo za povremeni plinski lift. Ventil se sastoji od dva dijela (Takács, 2005):



- a) Krmilni dio („pilot“ dio), koji se koristi za podešavanje rada radnog dijela ventila;
- b) Radni dio ventila, koji omogućava utiskivanje relativno velikih količina plina iz prstenastog prostora u tubing u kratkim intervalima.

Za ovaj način izvedbe plinskog ventila također vrijede ranije navedene jednačbe ravnoteže sila. Ovdje se kao glavni dio za regulaciju tlaka koristi opruga koja se, ovisi o tome doteže li se ili otpušta, podešava za veći ili manji tlak zatvaranja. Shematski prikaz ove vrste ventila nalazi se na slici 3-4.



**Slika 3-4.** Shematski prikaz krmilnog („pilot“) plinskog ventila (Zelić, 1977)

Princip djelovanja ovog ventila je idući (Zelić, 1977):

Povećavanjem tlaka u prstenastom prostoru, koji djeluje na površinu mijeha ( $A_m$ ) i na površinu prve opruge (opruga (1)), kao i s povećanjem tlaka u tubing, koji djeluje na

površinu sjedišta ventila ( $A_s$ ), dolazi do otvaranja ventila (vreteno ventila se diže po okomici). Plin iz prstenastog prostora djeluje na klip radnog dijela ventila, koji svojom vodicom otvara glavni otvor ventila. Pri tome se druga opruga (opruga vodilice klipa – opruga(2)) steže. Nakon otvaranja glavnog otvora ventila, iz prstenastog prostora u tubing pređu razmjerno velike količine plina, zbog čega se tlak u prstenastom prostoru smanji na vrijednost manju od tlaka za koji je podešena prva opruga za zatvaranje ventila. U trenutku zatvaranja sjedišta „pilot“ dijela, tlak iznad klipa radnog dijela ventila se smanjuje i druga opruga zatvara glavni otvor radnog dijela ventila.

Plinski ventili obično su opremljeni protupovratnim ventilom. On dopušta prolaz plina iz prstenastog prostora kroz ventil u uzlazne cijevi, a sprječava prolaz kapljevine iz tubinga u prstenasti prostor (Zelić, 1977).

### 3.2.4. Raspon djelovanja plinskih ventila

Za plinske ventile za povremeno podizanje jedna je od najvažnijih njihovih karakteristika raspon djelovanja (engl. *spread*). On je određen kao razlika tlaka otvaranja i zatvaranja ventila, odnosno:

$$S_p = p_o - p_z \quad (3-15)$$

Gdje je:

$S_p$  – raspon djelovanja ventila, bar.

Prema Zelić (1977.), kao primjer uzima se plinski ventil sa slijedećim karakteristikama:

- tlak u mijehu (ili tlak opruge podešene za otvaranje kod ventila s oprugom) = 38,259 bar;
- površina mijeha  $A_m = 6,4516 \text{ cm}^2 = 6,4516 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ ;
- površina sjedišta zaklopca  $A_s = 0,64516 \text{ cm}^2 = 0,64516 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ ;
- $R_m = A_s/A_m = 0,1$ ;
- tlak u tubingu  $p_{tv} = 0$ .

Tlak otvaranja po jednadžbi (3-9) iznosi :

$$p_o = \frac{38,259}{1-0,1} = 42,51 \text{ bar}$$

Obzirom na  $p_{tv} = 0$ , raspon djelovanja iznosi :

$$S_p = 42,51 - 38,259 = 4,251 \text{ bar}$$

U slučaju da tlak u tubingu nije jednak nuli, npr. uzima se vrijednost  $p_{tv} = 25$  bar, uz zadržane ranije vrijednosti karakteristika plinskog ventila. Tlak otvaranja tada je prema (3-4) jednak :

$$p_{ov} = \frac{38,259 - 25 \cdot 0,1}{1-0,1} = 39,732 \text{ bar}$$

U tom slučaju raspon djelovanja ventila bit će

$$S_p = 39,732 - 38,259 = 1,473 \text{ bar.}$$

Iz ovog proračuna očigledno je da se raspon djelovanja plinskog ventila smanjuje povećanjem tlaka u tubingu. Idući primjer uzima plinski ventil iz prethodnog proračuna, s tom razlikom da je površina sjedišta zaklopca povećana na  $A_s = 0,97 \text{ cm}^2 = 0,97 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ . Tada dolazi do promjene omjera površina sjedišta i mijeha  $R_m = 0,15$ .

U slučaju da je u tubingu tlak  $p_{tv} = 0$ , tlak otvaranja ventila iznosi :

$$p_o = \frac{38,259}{1-0,15} = 45,01 \text{ bar,}$$

a raspon djelovanja ventila iznosi :

$$S_p = 45,01 - 38,259 = 6,751 \text{ bar}$$

Ako se uzme da je tlak u tubingu različit od nule, odnosno  $p_{tv} = 25$  bar, tada je tlak otvaranja jednak:

$$p_{ov} = \frac{38,259 - 25 \cdot 0,15}{1-0,15} = 40,599 \text{ bar}$$

Raspon djelovanja ventila tada iznosi:

$$S_p = 40,599 - 38,259 = 2,34 \text{ bar}$$

Dakle, povećanjem površine sjedišta ventila uz zadržavanje konstantne površine mijeha, poveća se i tlak otvaranja plinskog ventila, a posljedično tome i raspon djelovanja plinskog ventila.

#### 4. POSTUPAK ANALITIČKOG PRORAČUNA POVREMENOG PLINSKOG LIFTA

U ovom poglavlju razmotrit će se postupak proračuna za neuravnotežene plinske ventile, koji djeluju na tlak plina u prstenastom prostoru. Ovaj postupak temelji se na procjeni tlakova zatvaranja ventila na površini, koji su za svaki sljedeći niži plinski ventil manji. Osim toga, pretpostavka je da se koristi ventil s mijehom ispunjenim stlačenim plinom, bez opruge.

Postupak proračuna je kako slijedi:

1. Računa se dubina ugradnje plinskog ventila gledano od ušća prema dnu bušotine.

$$L_{v1} = \frac{p_u^{\max} - p_{tu}}{G_s}, \quad (4-1)$$

Gdje su:

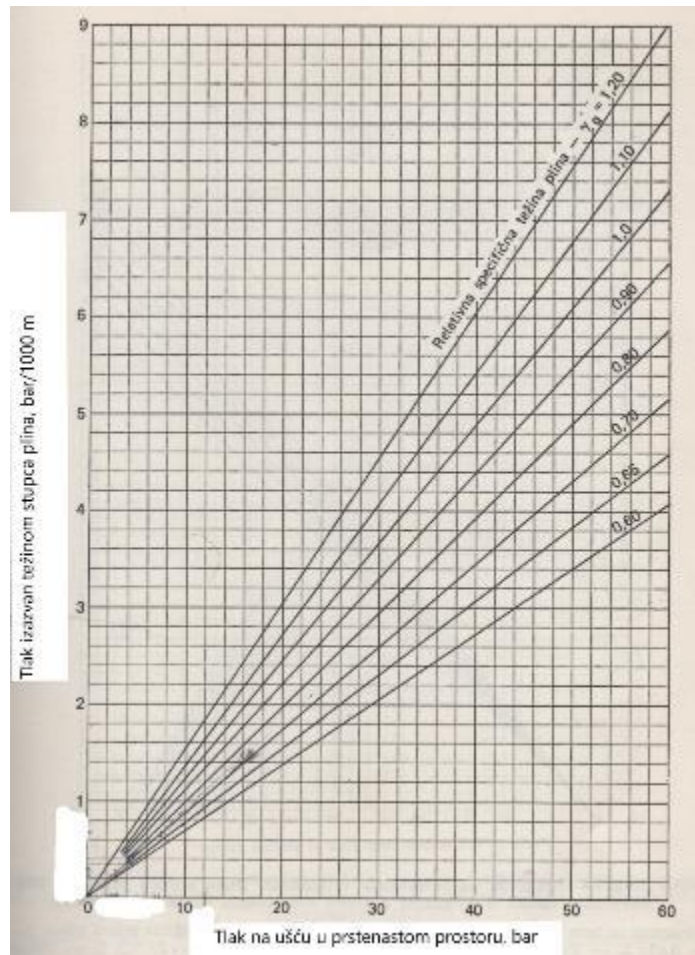
$L_{v1}$  – dubina ugradnje plinskog ventila, m

$p_u^{\max}$  – maksimalni tlak utiskivanja plina, mjereno na površini, bar

$p_{tu}$  – dinamički tlak na ušću, bar

$G_s$  – gradijent statičkog stupca kapljevine u tubingu, bar/m

Za prvi ventil odabire se tlak zatvaranja na površini između 3 i 5 bar manji od raspoloživog radnog tlaka utiskivanja plina na površini (Zelić, 1977). Izračunava se tlak zatvaranja prvog plinskog ventila na razini ugradnje, gdje se u obzir uzima tlak uzrokovan težinom stupca plina. On se očitava s dijagrama sa slike 4-1.



**Slika 4-1.** Dijagram ovisnosti tlaka izazvanog težinom stupca plina o vrijednosti tlaka plina na ušću u prstenastom prostoru, na 1000 m dubine (Zelić, 1977)

Tlak zatvaranja je tada veći za veličinu očitnog tlaka. Nakon toga se utvrđuje temperatura na razini ugradnje prvog ventila. Ona se može ustanoviti korištenjem pravca gradijenata temperature pri dinamičkim uvjetima. Ako su poznati podaci mjerenja temperatura na dnu i ušću bušotine, tada se temperatura na razini ugradnje prvog ventila može izračunati kako slijedi (Zelić, 1977):

$$t_v = t_u + \frac{t_d - t_u}{H_b} \cdot L_{v1} \quad (4-2)$$

Gdje su:

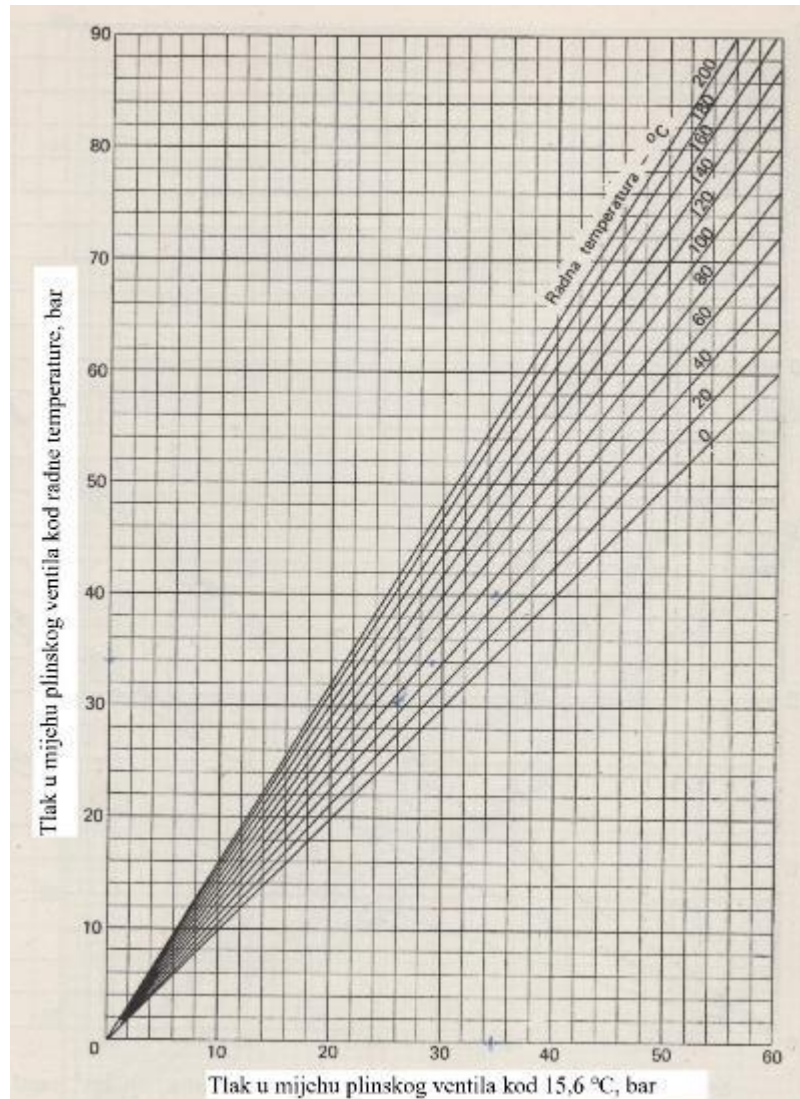
$t_v$  – temperatura na razini ugradnje ventila, °C;

$t_u$  – temperatura na ušću, °C;

$t_d$  – temperatura na dnu bušotine, °C;

$H_b$  – dubina bušotine, m.

Tlak u zatvaranja pri standardnoj temperaturi potom se određuje na temelju veličine tlaka zatvaranja u bušotini na razini ugradnje ventila, korištenjem dijagrama sa slike 4-2.



**Slika 4-2.** Dijagram ovisnosti tlaka u mijehu plinskog ventila pri radnoj temperaturi o tlaku pri standardnoj temperaturi (Zelić, 1977)

Tlak otvaranja ventila pri standardnoj temperaturi računa se po jednadžbi (3-5). Nakon toga se izračunava tlak stupca kapljevine u tubingu na razini ventila kroz koji dolazi do podizanja. Za ovaj teoretski primjer to je tlak iznad prvog ventila. Ovaj tlak se stvara zbog povratnog slijevanja kapljevine pri podizanju, tlaka u separatoru i pridolaska kapljevine iz ležišta u uzlazne cijevi (Zelić, 1977). Kapljevina pritječe iz ležišta u uzlazne cijevi ako je

plinski ventil ugrađen ispod statičke razine kapljevine (Zelić, 1977). Tada je tlak u tubingu na razini prvog ventila sljedeći:

$$p_{tv1} = p_{tu} + F_s \cdot L_{v1} \quad (4-3)$$

Gdje su:

$p_{tv1}$  – tlak u tubingu na razini prvog ventila, bar;

$F_s$  – faktor smještaja plinskog ventila, bar/m.

U tom slučaju, iznad razine ugradnje prvog ventila, pritjecanje fluida iz ležišta u tubing se još ne vrši. Tada se računa s minimalnom vrijednošću faktora smještaja ventila od oko 0,01 bar. Međutim, preporuča se da se u trenutku pritjecanja fluida iz ležišta u tubing, uzme povećana vrijednost faktora smještaja ventila u granicama od 0,002 bar/m do 0,005 bar/m za svaki sljedeći niže ugrađeni ventil (Zelić, 1977).

Tlak otvaranja ventila za prvi ventil prema jednadžbi (3-4) iznosi:

$$p_{ov1} = \frac{p_{zv1} - p_{tv1} \cdot R_m}{1 - R_m} \quad (4-4)$$

Potom se računa tlak otvaranja ventila na površini, tako da se od tlaka otvaranja izračunatog u jednadžbi (4-4) oduzme tlak koji odgovara težini stupca plina. Za kraj, za prvi ventil se računa raspon djelovanja ventila, odnosno razlika tlakova otvaranja i zatvaranja ventila.

2. Računa se dubina ugradnje sljedećeg nižeg, odnosno drugog plinskog ventila po sljedećoj jednadžbi:

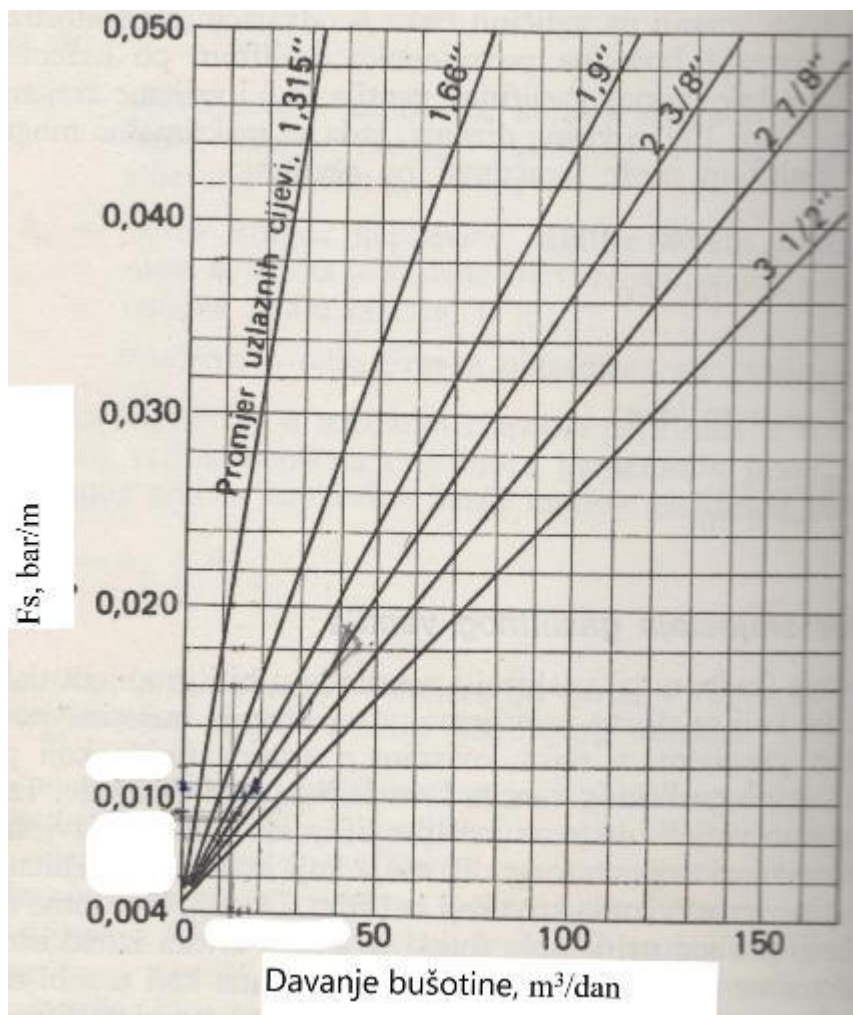
$$L_{v2} = L_{v1} + \frac{p_{zv1} - p_{tu} - F_s \cdot L_{v1}}{G_s} \quad (4-5)$$

Kod korištenja ove jednadžbe kao faktor smještaja ventila uvrštava se vrijednost koja se očitava s dijagrama sa slike 4-3., na kojem je prikazana u ovisnosti o količini davanja bušotine (Zelić, 1977).

Gdje je:

$p_{zv1}$  – tlak zatvaranja prvog ventila na razini njegove ugradnje





**Slika 4-3.** Faktor smještaja ventila u ovisnosti o davanju bušotine i promjeru tubinga (Zelić, 1977)

Potom se odabire tlak na površini pri zatvaranju drugog plinskog ventila, tako da bude za 1 do 2 bar manji od tlaka na površini pri zatvaranju drugog ventila. Nakon toga, redosljed proračuna za drugi plinski ventil analogan je onome za prvi ventil (Zelić, 1977).

3. Dubina ugradnje trećeg plinskog ventila računa se istim postupkom po kojem je izračunata dubina ugradnje drugog plinskog ventila. Razlika je ta, da se pritom koristi tlak zatvaranja drugog ventila na razini njegove ugradnje ( $p_{zv2}$ ) i dubina ugradnje drugog ventila ( $L_{v2}$ ). Tlak na površini pri zatvaranju trećeg ventila odabire se tako da bude za 1 do 2 bar manji od tlaka na površini pri zatvaranju drugog ventila (Zelić, 1977).

## 5. ANALITIČKI PRORAČUN POVREMENOG PLINSKOG LIFTA

Za proračun je odabrana metoda s primjenom smanjivanja tlaka zatvaranja na površini za svaki niži ventil prema Zelić (1977). Podaci o bušotini „X“ dani su u tablici 5-1, te se koriste u proračunu povremenog plinskog lifta.

Tablica 5-1. podaci o bušotini „X“

Dubina bušotine, $H_b$	1500 m
Nominalni unutarnji promjer zaštitnih cijevi, $D_{zc}$	127 mm
Vanjski promjer tubinga, $D_t$	60,3 mm
Unutarnji promjer tubinga, $d_t$	50,7 mm
Tlak tubinga na ušću, $p_{tu}$	6,86 bar
Maksimalni radni tlak utiskivanja plina, $p_u^{\max}$	68,6 bar
Radni tlak utiskivanja plina, $p_u$	60 bar
Prosječni tlak u tubingu tijekom plinskog podizanja, $\bar{p}_t$	35 bar
Ležišni tlak na 1500 m, $p_s$	72,2 bar
Relativna specifična težina nafte, $\gamma_o$	0,876
Relativna specifična težina plina, $\gamma_g$	0,7
Faktor stlačivosti plina, $Z$	0,91
Temperaturni gradijent, $\Delta T$	0,036 °C/m
Temperatura na dubini 1500 m, $T_d$	69 °C

<b>Temperatura na ušću bušotine, <math>T_u</math></b>	<b>15 °C</b>
<b>Gradijent statičkog stupca kapljevine kojom je bušotina ugušena, <math>G_s</math></b>	<b>0,105 bar/m</b>
<b>Radna točka pridobivanja nafte, <math>Q_o</math></b>	<b>15 m<sup>3</sup>/dan</b>
<b>Odnos vode i nafte, WOR</b>	<b>0,5 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup></b>

Za pretpostavku se uzima da su na raspolaganju plinski ventili sljedećih karakteristika:

- Efektivna površina mijeha  $A_m = 4,96 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 0,77 \text{ in}^2$
- Površina sjedišta ventila  $A_s = 0,71 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 0,11 \text{ in}^2$
- Odnos površina  $R_m = A_s/A_m = 0,143$ ;  $1 - R_m = 0,858$
- Promjer glavnog otvora  $d_v = 9,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

### 5.1. Proračun prvog plinskog ventila

Dubina ugradnje prvog plinskog ventila iznosi (prema (4-1)):

$$L_{v1} = \frac{p_u^{\max} - p_{tu}}{G_s} = \frac{68,6 - 6,86}{0,105} = 588 \text{ m}$$

- Tlak zatvaranja prvog ventila na površini:

$$p_{zu1} = p_u - 5 = 60 - 5 = 55 \text{ bar}$$

- Tlak zatvaranja prvog ventila na razini njegove ugradnje, očitanjem s dijagrama sa slike 4-1:

$$P_{zv1} = P_{zu1} + \Delta p_g = 55 + 2,76 = 57,76 \text{ bar}$$

Gdje je :

$\Delta p_g$  – tlak izazvan težinom stupca plina, očitao s dijagrama sa slike 4-1, bar.

- Temperatura na razini prvog ventila:

$$T_{v1} = T_u + \Delta T \cdot L_{v1} = 15 + 0,036 \cdot 588 = 36,17 \text{ }^\circ\text{C}$$

- Tlak u mijehu ventila na standardnoj temperaturi očitava se s dijagrama sa slike 4-2:

$$p_{ms1} = 51 \text{ bar}$$

- Tlak otvaranja prvog plinskog ventila pri standardnoj temperaturi jednak je:

$$p_{os1} = \frac{p_{ms1}}{1-R_m} = \frac{51}{0,858} = 59,44 \text{ bar}$$

- Tlak u tubingu na razini prvog ventila zbog povratnog slijevanja kapljevine, prema (4-3):

$$p_{tv1} = p_{tu} + F_s \cdot L_{v1} = 6,86 + 0,01 \cdot 588 = 12,74 \text{ bar}$$

- Tlak otvaranja prvog plinskog ventila na razini njegove ugradnje :

$$p_{ov1} = \frac{p_{zv1} - p_{tv1} \cdot R_m}{1 - R_m} = \frac{57,76 - 12,74 \cdot 0,142}{0,858} = 65,21 \text{ bar}$$

- Tlak otvaranja na površini očitava se iz dijagrama na slici
- Raspon djelovanja prvog plinskog ventila :

$$S_{p1} = P_{ov1} - P_{zv1} = 65,21 - 57,76 = 7,45 \text{ bar}$$

## 5.2. Proračun drugog plinskog ventila

Dubina ugradnje ventila (prema (4-5)):

$$L_{v2} = L_{v1} + \frac{p_{zv1} - p_{tu} - F_s \cdot L_{v1}}{G_s} = 588 + \frac{57,76 - 6,86 - 0,01 \cdot 588}{0,105} = 1016,76 \text{ m}$$

- Tlak zatvaranja na površini je za 1 bar manji od tlaka zatvaranja na površini za prvi ventil:

$$p_{zu2} = p_{zu1} - 1 = 55 - 1 = 54 \text{ bar}$$

- Tlak zatvaranja drugog ventila na razini njegove ugradnje, uz pomoć dijagrama na slici 4-1:

$$p_{zv2} = p_{zu2} + \Delta p_g = 54 + \frac{4,6}{1000} \cdot 1016,76 = 58,68 \text{ bar}$$

- Temperatura na razini drugog ventila:

$$T_{v2} = T_u + \Delta T \cdot L_{v2} = 15 + 0,036 \cdot 1016,76 = 51,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

- Tlak u mijehu drugog ventila pri 15,6°C, prema dijagramu sa slike 4-2:

$$p_{ms2} = 50 \text{ bar}$$

- Tlak otvaranja pri 15,6 °C

$$p_{os2} = \frac{p_{ms2}}{1-R_m} = \frac{50}{0,858} = 58,28 \text{ bar}$$

- Tlak u tubingju na razini ventila, uz povećanu vrijednost faktora smještaja ventila ( $F_{s2} = 0,01 + 0,002 = 0,012 \text{ bar}$ )

$$p_{tv2} = p_{tu} + F_{s2} \cdot L_{v2} = 6,86 + 0,012 \cdot 1016,76 = 19,06 \text{ bar}$$

- Tlak otvaranja drugog plinskog ventila na razini njegove ugradnje :

$$p_{ov2} = \frac{p_{zv2} - p_{tv2} \cdot R_m}{1 - R_m} = \frac{58,68 - 19,06 \cdot 0,142}{0,858} = 65,24 \text{ bar}$$

- Raspon djelovanja plinskog ventila :

$$S_{p2} = p_{ov2} - p_{zv2} = 65,24 - 58,68 = 6,56 \text{ bar}$$

### 5.3. Proračun trećeg plinskog ventila

Dubina ugradnje ventila:

$$L_{v3} = L_{v2} + \frac{p_{zv2} - p_{tu} - F_s \cdot L_{v2}}{G_s} = 1016,76 + \frac{58,68 - 6,86 - 0,012 \cdot 1016,76}{0,105} = 1394,08 \text{ m}$$

- Tlak zatvaranja na površini, za 1 bar manji od tlaka zatvaranja na površini za drugi ventil:

$$p_{zu3} = p_{zu2} - 1 = 54 - 1 = 53 \text{ bar}$$

- Tlak zatvaranja trećeg ventila na razini njegove ugradnje, uz pomoć dijagrama na slici 4-1:

$$p_{zv3} = p_{zu3} + \Delta p_g = 53 + \frac{4,55}{1000} \cdot 1394,08 = 59,34 \text{ bar}$$

- Temperatura na razini trećeg ventila:

$$T_{v3} = T_u + \Delta T \cdot L_{v3} = 15 + 0,036 \cdot 1394,08 = 65,19 \text{ }^\circ\text{C}$$

- Tlak u mijehu trećeg ventila pri 15,6 °C, prema dijagramu sa slike 4-2:

$$p_{ms3} = 48 \text{ bar}$$

- Tlak otvaranja pri 15,6 °C

$$p_{os3} = \frac{p_{ms3}}{1-R_m} = \frac{48}{0,858} = 55,94 \text{ bar}$$

- Tlak u tubingu na razini ventila, uz povećanu vrijednost faktora smještaja ventila ( $F_{s3} = 0,012 + 0,002 = 0,014 \text{ bar}$ )

$$p_{tv3} = p_{tu} + F_{s3} \cdot L_{v3} = 6,86 + 0,014 \cdot 1394,08 = 26,38 \text{ bar}$$

- Tlak otvaranja trećeg plinskog ventila na dubini ugradnje

$$p_{ov3} = \frac{p_{zv3} - p_{tv3} \cdot R_m}{1 - R_m} = \frac{59,34 - 26,38 \cdot 0,142}{0,858} = 64,8 \text{ bar}$$

- Raspon djelovanja plinskog ventila :

$$S_{p3} = p_{ov3} - p_{zv3} = 64,8 - 59,34 = 5,46 \text{ bar}$$

Proračun dubine četvrtog plinskog ventila:

$$L_{v4} = L_{v3} + \frac{p_{zv3} - p_{tu} - F_s \cdot L_{v3}}{G_s} = 1394,08 + \frac{59,34 - 6,86 - 0,014 \cdot 1394,08}{0,105} = 1708,01 \text{ m}$$

Dubina ugradnje četvrtog plinskog ventila veća je od ukupne dubine bušotine, što znači da tu proračun staje, odnosno da je zadnji ugrađeni ventil treći ventil.

#### 5.4. Proračun podizanja

Nakon što je dimenzionirana bušotina u okviru ugradnje ventila za plinsko podizanje, potrebno je proračunati količinu plina za utiskivanje i karakteristike ciklusa podizanja kapljevine. U proračunu se kao ventil kroz koji se podiže kapljevina koristi treći ventil na dubini  $L_{v3} = 1394,08$  m.

Količina plina potrebna za podizanje tijekom jednog ciklusa može se izračunati kako slijedi (Zelić, 1977):

$$Q_q = V'_t \cdot \left( \frac{\bar{p}_t \cdot T_a}{p_a \cdot \bar{T} \cdot Z} \right) \cdot L_{v3} \quad (5-1)$$

Gdje su :

$V'_t$  – unutarnji volumen jednog duljnog metra tubinga,  $m^3$ ;

$\bar{p}_t$  – prosječan tlak u tubingu tijekom podizanja kapljevine, bar;

$T_a$  – apsolutna temperatura, 273,15 K

$p_a$  – atmosferski tlak, 1,01325 bar

$\bar{T}$  - prosječna temperatura u bušotini, K

$Z$  – faktor stlačivosti plina

Prosječna temperatura iznosi:

$$\bar{T} = \frac{(15 + 273,15) + (65,19 + 273,15)}{2} = 313,25 \text{ K,}$$

a unutarnji volumen jednog metra tubinga:

$$V'_t = \frac{(50,7 \cdot 10^{-3})^2 \cdot \pi}{4} = 2,019 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Uvrštavanjem poznatih podataka u jednadžbu (5-1), dobiva se:

$$Q_q = V'_t \left( \frac{\bar{p}_t \cdot T_a}{p_a \cdot \bar{T} \cdot Z} \right) \cdot L_{v3} = 2,019 \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{35 \cdot 273,15}{1,01325 \cdot 313,25 \cdot 0,91} \right) \cdot 1394,08 = 93,16$$

$m^3/\text{ciklus}$

Količina kapljevine iznesena na površinu tijekom jednog ciklusa jednaka je (uz pretpostavljenu vrijednost „fall back“ faktora na 100m dizanja –  $F'_b = 0,02$ ):

$$q_k = \frac{V'_t (\bar{p}_t - p_{tu})}{G_s} \cdot \left( 1 - F'_b \cdot \frac{L_{v5}}{100} \right) =$$

$$\frac{2,019 \cdot 10^{-3} (35 - 6,86)}{0,105} \cdot \left( 1 - 0,02 \cdot \frac{1394,08}{100} \right) = 0,39 \text{ m}^3/\text{ciklus}$$

Tada je plinski faktor jednak:

$$GLR = \frac{Q_g}{q_k} = \frac{93,16}{0,39} = 238,87 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

Volumen početnog stupca kapljevine:

$$V_{sp} = \frac{V'_t (\bar{p}_t - p_{tu}) \cdot 10}{\gamma_k} = \frac{2,019 \cdot 10^{-3} \cdot (35 - 6,86) \cdot 10}{0,5 + 0,5 \cdot 0,876} = 0,6057 \text{ m}^3$$

Gdje je:

$\gamma_k$  – relativna gustoća kapljevine

Omjer volumena početnog stupca kapljevine i volumena tubinga daje duljinu početnog stupca kapljevine:

$$H_{sk} = \frac{V_{sp}}{V'_t} = \frac{0,6057}{2,019 \cdot 10^{-3}} = 300 \text{ m}$$

Količina plina potrebna za podizanje u slučaju da je tubing ispunjen početnim stupcem kapljevine:



$$Q_q = V'_t \cdot \left( \frac{\bar{p}_t \cdot T_a}{p_a \cdot \bar{T} \cdot Z} \right) \cdot L_{v3} = 2,019 \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{35 \cdot 273,15}{1,01325 \cdot 313,25 \cdot 0,91} \right) \cdot (1394,08 - 300) = 73,11 \text{ m}^3/\text{ciklus}$$

Tada plinski faktor iznosi:

$$GLR = \frac{Q_g}{q_k} = \frac{73,11}{0,39} = 187,46 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

Plinski faktor dobiven u ovom slučaju je najmanji plinski faktor.

Maksimalno moguće davanje bušotine iznosi (uz pretpostavku da vrijeme trajanja jednog ciklusa na 100 metara dizanja  $t_c = 45\text{s} = 0,75 \text{ min}$ ):

$$Q_k^{\max} = \frac{q_k \cdot 1440 \cdot 100}{t_c \cdot L_{v3}} = \frac{0,39 \cdot 1440 \cdot 100}{0,75 \cdot 1000} = 74,88 \text{ m}^3/\text{dan}$$

A ukupno vrijeme trajanja ciklusa iznosi:

$$t = t_c \cdot \frac{L_{v5}}{100} = 0,75 \cdot \frac{1394,08}{100} = 10,4556 \text{ min/ciklus}$$

Broj ciklusa bi pri maksimalnoj proizvodnji iznosio:

$$n_c = 1440/t = 1440/10,4556 = 137,73 = 137 \text{ ciklusa po danu.}$$

Obzirom na radnu točku  $Q_o = 15 \text{ m}^3/\text{dan}$ , stvarni broj ciklusa jednak je:

$$n_c = Q_o/q_k = 15/0,39 = 38,46 = 38 \text{ ciklusa po danu.}$$

Konačno, pri dobivenom plinskom faktoru  $GLR = 238,87 \text{ m}^3/\text{m}^3$ , ukupna dnevna količina plina potrebna za podizanje kapljevine iznosi :

$$Q_{gd} = 238,87 \cdot 15 = 3583,05 \text{ m}^3/\text{dan.}$$

## 6. ZAKLJUČAK

Povremeni plinski lift jedna je od češće korištenih metoda mehaničkog podizanja kapljevine. Vrlo je učinkovita kod ležišta s manjim indeksom proizvodnosti te kod dubokih ležišta. Razlog tomu je taj da je početna cijena ulaganja u plinski lift manja u usporedbi s drugim mehaničkim metodama podizanja kapljevine. Osim toga, cijena održavanja sustava podizanja plinskim liftom je manja od cijene održavanja sustava koji primjenjuju druge mehaničke metode (manje su potrebni remontni zahvati). Obzirom na učinkovitost kod ležišta s malim indeksom proizvodnosti i većim plinskim faktorom, povremeni plinski lift je metoda podizanja kapljevine koja bi mogla biti više primjenjivati u Republici Hrvatskoj budući se ležišta nalaze u visokoj fazi iscrpljenosti i smanjenog ležišnog tlaka.

Cilj ovog završnog rada bio je kroz dimenzioniranje sustava podizanja kapljevine povremenim plinskim liftom prikazati povremeni plinski lift kao vrlo učinkovitu metodu podizanja kapljevine. Prema dobivenim vrijednostima postignutog plinskog faktora (GLR) i potrebne dnevne količine plina za podizanje kapljevine, može se zaključiti kako je povremeni plinski lift ispravno dimenzioniran s obzirom na radnu točku (sjecište IPR i VLP krivulje). Postignuti plinski faktor dovoljan je da smanji dinamički tlak na dnu bušotine i da se postigne odgovarajuća depresija te svladaju hidraulički otpori u tubing u za podizanje zadane količine kapljevine povremenim plinskim liftom. Samo dimenzioniranje rada ventila obuhvaća određivanje dubine ugradnje istih kao i raspon djelovanja radi ispravnog rada (otvaranje i zatvaranje ventila nakon svakog ciklusa rada). Iz primjera proračuna može se zaključiti da je sustav jednostavan i precizan za dimenzioniranje rada sustav što omogućava širu primjenu u proizvodnji kod ležišta s niskim indeksom proizvodnosti.

## 7. POPIS LITERATURE

1. AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, 1994. API Gas lift manual
2. BRKIĆ, V., 2019. Plinski lift. Nastavni materijali u Merlinu iz kolegija Proizvodnja nafte i plina 1 u ak.god. 2019./20. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb. (neobjavljeno)
3. PERIĆ, M., 2007. Englesko-hrvatski enciklopedijski rječnik istraživanja i proizvodnje nafte i plina. Zagreb: INA Industrija nafte d.d.
4. SCHLUMBERGER, 2000. Gas lift design and technology
5. TAKÁCS, G., 2005. Gas lift manual, PennWell Corp., Nashville, SAD
6. TURKALJ, I., BUDIMIĆ, R., 2009. Katalog opreme za plinsko podizanje nafte, INA d.d.
7. ZELIĆ, M., 1977. Tehnologija pridobivanja nafte i plina eruptiranjem i gasliftom, INA-NAFTAPLIN, Zagreb

Web izvori:

8. HWU – HERIOT-WATT UNIVERSITY. 2020. Gas lift. URL:  
<https://www.studocu.com/en-gb/document/heriot-watt-university/gas-lift/gas-lift-heriot-watt-university/8835447> (25.08.2021)

## IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno na temelju znanja i vještina stečenih na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu, Sveučilišta u Zagrebu, služeći se navedenom literaturom.

A handwritten signature in blue ink, reading "Perković", is centered within a light purple rectangular box. The signature is written in a cursive style.

---

Luka Perković



KLASA: 602-04/21-01/127  
URBROJ: 251-70-12-21-2  
U Zagrebu, 15.9.2021.

**Luka Perković, student**

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/21-01/127, URBROJ: 251-70-12-21-1 od 27.4.2021. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

### PODIZANJE KAPLJEVINE PRIMJENOM POVREMENOG PLINSKOG LIFTA

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)