

# Uzroci oštećenja isplačnih pumpi

---

Grahovac, Domagoj

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:432869>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-08**



Repository / Repozitorij:

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



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

**UZROCI OŠTEĆENJA ISPLAČNIH PUMPI**

Završni rad

Domagoj Grahovac

N4510

Zagreb, 2023.

## UZROCI OŠTEĆENJA ISPLAČNIH PUMPI

Domagoj Grahovac

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

### Sažetak

Isplaka je najbitniji fluid koji se koristi tokom bušenja, tj. bez nje bi bušenje bilo nemoguće. Isplaka ima niz zadaća koje obavlja, a svakako jedna od najvažnijih je i čišćenje dna kanala bušotine. Sustav za njeno protiskivanje kroz niz bušačkih alatki te povratno kroz kanal bušotine je složen sustav u kojem je najbitnija komponenta upravo isplačna pumpa. Isplačna pumpa treba ostvariti dostatan tlak i protok kako bi se uspostavila cirkulacija isplake kroz kanal bušotine te osigurala nesmetana izrada kanala bušotine. Upravo zbog kontinuirano rada pri visokim tlakovima i protocima često dolazi do oštećenja pojedinih dijelova isplačnih pumpi. U ovom završnom radu opisana su najčešća oštećenja isplačnih pumpi, kao i metode detekcije kvarova i prevencije većih oštećenja.

Ključne riječi: isplaka, isplačna pumpa, oštećenja isplačnih pumpi

Završni rad sadrži: 32 stranice, 1 tablicu, 22 slike, i 14 referenci.

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Dr. sc. Borivoje Pašić, izvanredni profesor RGNf-a

Ocjenjivači: Dr. sc. Borivoje Pašić, izvanredni profesor RGNf-a  
Dr. sc. Zdenko Krištafor, redoviti profesor RGNf-a  
Dr. sc. Luka Perković, izvanredni profesor RGNf-a

## Sadržaj

POPIS SLIKA.....	I
POPIS TABLICA .....	II
POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I PRIPADAJUĆIH MJERNIH JEDINICA.....	III
1. UVOD.....	1
2. KONSTRUKCIJA PUMPI.....	2
3. ISPLAČNA KLIPNA PUMPA .....	3
3.1. Pogonski dio.....	4
3.2. Hidraulički dio.....	5
3.2.1. Cilindri .....	6
3.2.2. Usporedba jednoradnih i dvoradnih klipnih pumpi .....	7
3.2.3. Ventili .....	8
3.3. Dobava .....	8
3.4. Ostali dijelovi isplačne pumpe .....	12
3.4.1. Usisni i tlačni vod .....	12
3.4.2. Kompenzacijska komora i sigurnosni ventil.....	13
4. NAJČEŠĆA OŠTEĆENJA I UZROCI OŠTEĆENJA DIJELOVA ISPLAČNIH PUMPI .....	15
4.1. Prekomjerno trošenje košuljice i/ili tijela klipa.....	15
4.2. Pojava rupa na košuljici cilindra .....	15
4.3. Trošenje samo jedne strane klipa i košuljice cilindra .....	15
4.4. Oštećenje brtvećih elemenata uzrokovano korištenjem uljne isplake.....	16
4.5. Nenormalno trošenje ili lom.....	16
4.6. Pojava pijeska i ostatka krhotina.....	16
5. ANALIZA KVAROVA ISPLAČNIH KLIPNIH PUMPI.....	17
5.1. Analiza kvarova isplačnih pumpi pomoću stabla odlučivanja .....	18
6. TEHNIČKA ANALIZA KVAROVA ISPLAČNE PUMPE.....	22
7. TEHNIČKI PROBLEMI ISPLAČNIH PUMPI KOD POSTROJENJA ZA BUŠENJA VRLO DUBOKIH BUŠOTINA NA MORU .....	26
8. KORIŠTENJE AUDIO PODATAKA ZA OTKRIVANJE OŠTEĆENJA ISPLAČNIH PUMPI .....	28
9. ZAKLJUČAK.....	30
10. LITERATURA .....	31

## POPIS SLIKA

Slika 2-1. Trocilindrična i četverocilindrina isplačna pumpa .....	2
Slika 3-1. Presjek cilindra sa klipom .....	3
Slika 3-2. Pogonski i hidraulički dio isplačne pumpe .....	4
Slika 3-3. Glavni dijelovi pogonskog sklopa isplačne pumpe .....	5
Slika 3-4. Shematski prikaz hidrauličkog dijela jednoradne isplačne pumpe .....	6
Slika 3-5. Brtveći elementi cilindra pumpe .....	7
Slika 3-6. Grafički prikaz odnosa dobave i tlaka kod isplačne pumpe .....	9
Slika 3-7. Isplačna pumpa sa prikazanim tlačnim i usisnim vodom.....	12
Slika 3-8. Kompenzacijska komora .....	13
Slika 3-9. Sigurnosni ventil .....	14
Slika 4-1. Oštećena guma brtvećeg elementa .....	16
Slika 5-1. Osnovni, kondicijski elementi i konačni (donji ) događaj .....	17
Slika 5-2. Simboli logičnih vrata .....	17
Slika 5-3. Glavno stablo kvarova klipnih isplačnih pumpi.....	19
Slika 5-4. Stablo kvarova kod analize problema vezanih uz pojavu vrlo visokog tlaka u isplačnoj pumpi .....	20
Slika 5-5. Stablo kvarova za pojavu abnormalne temperature .....	20
Slika 5-6. Stablo kvarova za pojavu buke .....	21
Slika 6-1. Puknuće karike remenice .....	22
Slika 7-1. Trocilindrična jednoradna isplačna pumpa .....	26
Slika7-2. Oštećenje sjedišta ventila pumpe .....	27
Slika 8-1. Oprema za audio praćenje rada centrifugalne pumpe .....	28
Slika 8-2. Detekcija pojave kavitacije u centrifugalnoj pumpi zbog zraka u protiskivanom fluidu .....	29

## **POPIS TABLICA**

Tablica 5-1. Prikaz brojeva kvarova sa vjerojatnostima pojave .....	18
---	----

## POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I PRIPADAJUĆIH MJERNIH JEDINICA

OZNAKA	MJERNA JEDINICA	OPIS
Q	m <sup>3</sup> /s	teoretska dobava isplačne pumpe
A <sub>c</sub>	m <sup>3</sup>	Površina presjeka klipa
s	m	Hod klipa
i	-	Broj cilindara
n <sub>k</sub>	s <sup>-1</sup>	Broj hodova klipa
A <sub>k</sub>	m <sup>2</sup>	Površina presjeka klipnjače
Q <sub>s</sub>	m <sup>3</sup> /s	stvarna dobava isplačne pumpe
η <sub>v</sub>	-	Volumetrijski koeficijent punjenja pumpe
η <sub>m</sub>	-	Mehanički stupanj korisnog djelovanja
η <sub>h</sub>	-	Hidraulički stupanj korisnog djelovanja
N	W	Snaga koju pumpa dobiva na pogonskoj osovini
p	Pa	tlak

## 1. UVOD

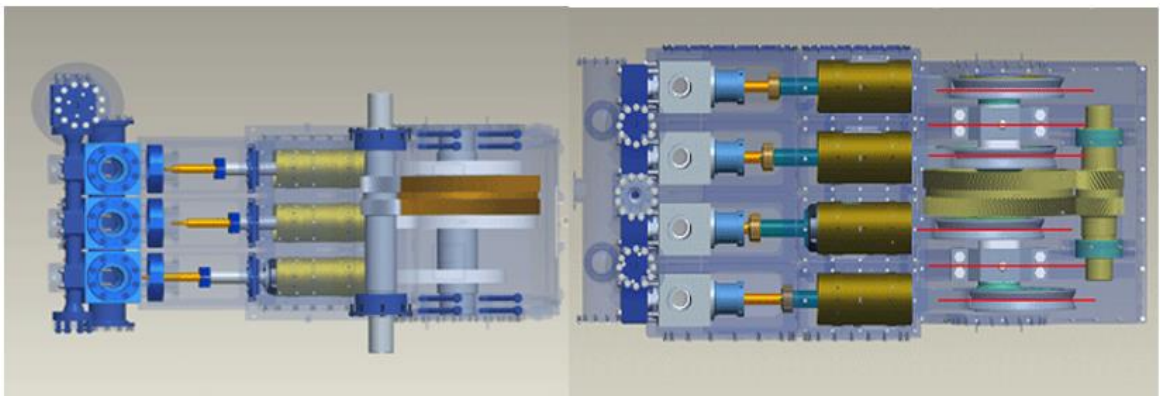
Isplaka je jedna od najvažnijih komponenti u procesu bušenja, drugim riječima bez cirkulacije isplake proces bušenja je neizvediv. Glavna uloga isplake je čišćenje dna kanala bušotine, tj. iznošenje krhotina stijena koje nastaju kada dlijeto razrušava stijenu svojom rotacijom. Osim navedenog, uloga isplake je i sprječavanje neželjenog utoka slojnih fluida u bušotinu tijekom bušenja, hlađenje dlijeta, podmazivanje dlijeta, stvaranje isplačnog obloga, zadržavanje krhotina u stanju lebdenja nakon prestanka cirkulacije itd. Glavne komponente cijelog sustava za protiskivanje isplake koji omogućava isplaci da odrađuje svoje zadaće su: usisni vod, isplačna pumpa (jedna ili više njih), tlačni vod, isplačna glava, bušaće alatke te isplačni bazeni. Tu je i neizostavni površinski sustav koji ima zadaću da očisti isplaku koja se vraća iz bušotine i sa sobom nosi krhotine razrušenih stijena.

Isplačna pumpa glavni je dio cijelog tog sustava. Bez pumpe koja ostvaruje potreban tlak i protok te na taj način potiskuje isplaku koja ulazi u bušotinu, odlazi do dna i podiže krhotine stijena i vraća se s njima na površinu, cijeli taj proces ne bi bio moguć. Sisaljke mogu biti pogonjene dizel motorima ili elektromotorima snage do 1600 kW. Sposobne su protiskivati velike količine fluida (do 3500 dm<sup>3</sup>/min) pod tlakovima do  $390 \cdot 10^5$  Pa (Matanović, 2013). Po konstrukciji to su klipne pumpe koje se dodatno klasificiraju po broju cilindara te načinu djelovanja. Danas postoje isplačne pumpe s dva, tri, četiri i šest cilindara dok s obzirom na način djelovanja postoje jednoradne ili dvoradne isplačne pumpe. S obzirom na njihovu važnost te utjecaj na proces bušenja, posebna pažnja posvećuje se njihovom održavanju kako bi se izbjegla bilo kakva oštećenja. Detaljnija podjela i opis isplačnih pumpi koje se danas koriste u bušaćoj praksi, kao i uzroci njihova oštećenja bit će opisani u nastavku rada.



## 2. KONSTRUKCIJA PUMPI

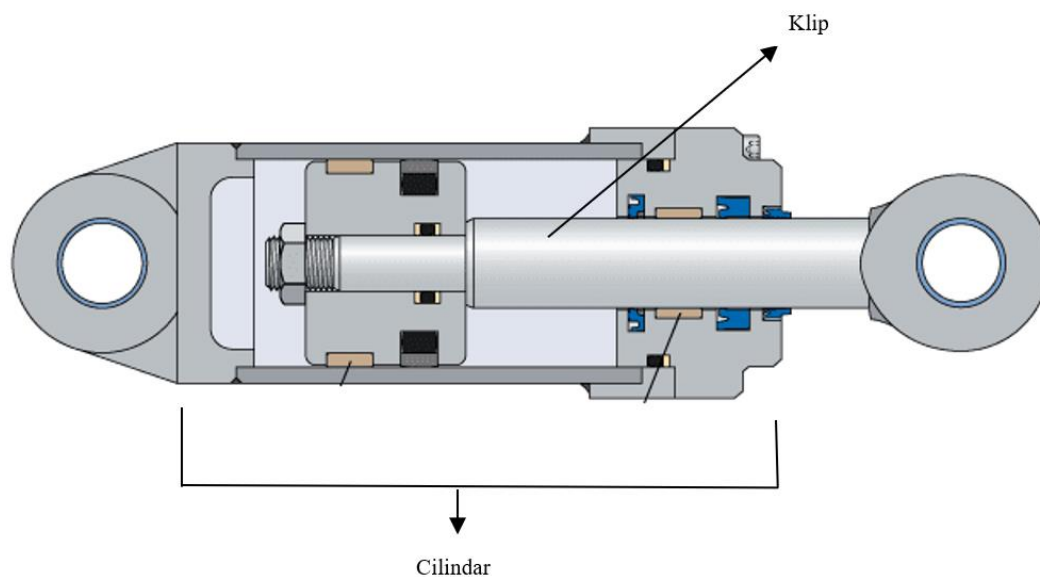
Na bušačim postrojenjima koriste se dvije vrste pumpi, klipne ili centrifugalne pumpe. Isplačne klipne pumpe koriste se za ostvarivanje protoka isplake kroz kanal bušotine dok se centrifugalne pumpe koriste kao pomoćne pumpe na bušačem postrojenju (kao napojne pumpe, za pripreme isplake, hlađenje pojedinih dijelova postrojenja i dr.). Što se tiče klipnih pumpi najčešće su u upotrebi one s 2 ili 3 cilindra odnosno dvocilindrične ili trocilindrične. Danas se u praksi koriste i četverocilindrične te šesterocilindrične isplačne pumpe (Slika 2-1.). Klip isplaku može potiskivati samo s jedne ili s obje strane, stoga se razlikuju jednoradne i dvoradne isplačne pumpe. Centrifugalne pumpe koje se primjenjuju kao napojne pumpe jednoradnim klipnim pumpama i na ostalim dijelovima sustava za pročišćavanje sposobne su tlačiti fluide do tlaka od  $40 \times 10^5$  Pa (Matanović, 2013). Isplačne klipne pumpe se sastoje od pogonskog i hidrauličkog dijela (Slika 3-2.).



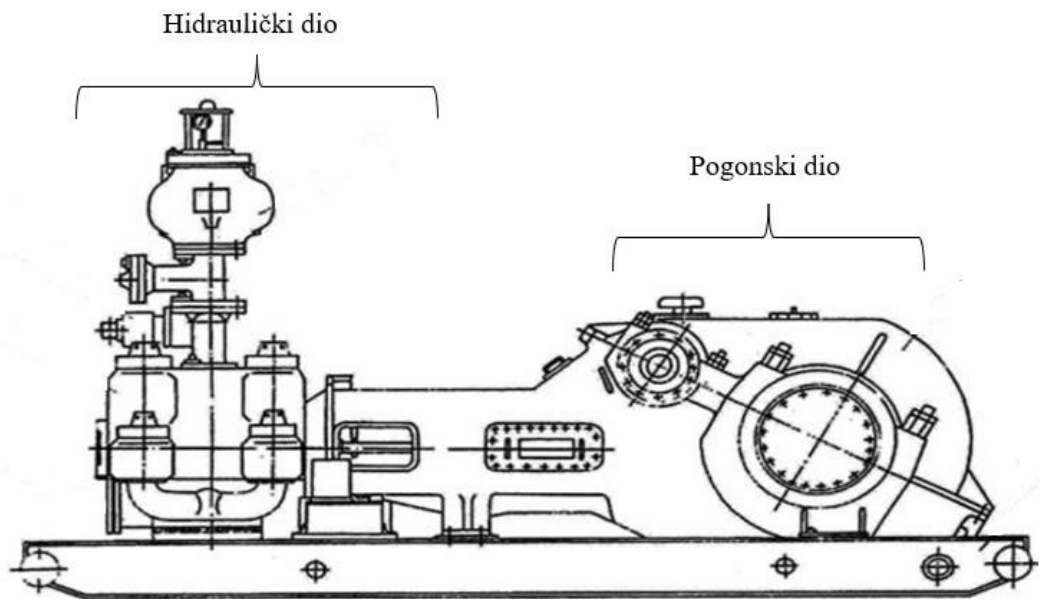
**Slika 2-1.** Trocilindrična i četverocilindrična isplačna pumpa (PUMPS&SYSTEMS, 2012)

### 3. ISPLAČNA KLIPNA PUMPA

Glavni dijelovi svake klipne pumpe su cilindar i klip (Slika 3-1.). Klip (radni element) se linearno kreće unutar radnog cilindra i tako potiskuje fluid. Kretanjem klipa unutar cilindra određeni obujam fluida, u ovom slučaju isplake, periodično ulazi u cilindar s usisne strane, prema tlačnoj strani gdje fluid nastavlja cirkulaciju dalje kroz isplačni sustav. Na usisnoj i tlačnoj strani nalaze se ventili koji omogućavaju opisanu cirkulaciju fluida. To tu usisni i tlačni ventili, oni se otvaraju i zatvaraju djelovanjem tlaka (nadtlak i podtlak) prisutnog u cilindru. Otvaranje i zatvaranje ventila nije idealno zbog tromosti fluida prisutnog u sustavu. Idealan slučaj je taj da bi se otvaranje trebalo dogoditi u trenutku kada se klip pomaknuo s najniže točke svoje putanje, a zatvaranje u trenutku kada dolazi u najnižu točku (mrtvu točku). Brzina kojom se klip giba određena je gibanjem klipnog mehanizma. Broj radnih ciklusa klipne pumpe je ograničen i iznosi 100 – 130 ciklusa u minuti, što ovisi o broju cilindara te radi li se o jednoradnoj ili dvoradnoj pumpi (Matanović, 2013).



**Slika 3-1.** Presjek cilindra sa klipom (SKF, n.d.)

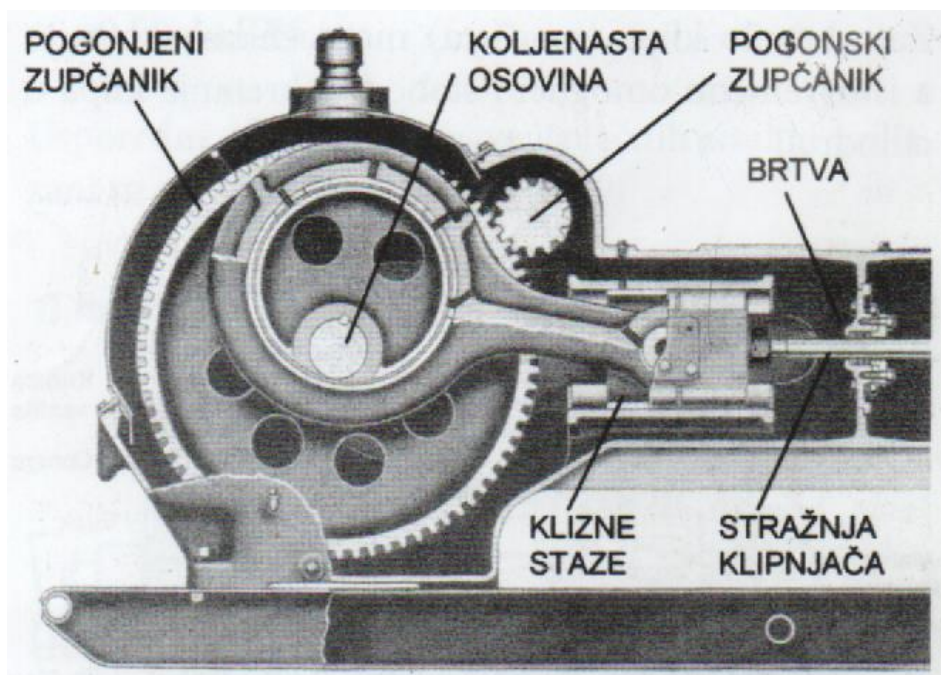


**Slika 3-2.** Pogonski i hidraulički dio isplačne pumpe (Shangareev, 2020)

### 3.1. Pogonski dio

Pumpe za protiskivanje isplake kroz bušaći niz i kanal bušotine pogonjene su elektromotorom ili dizel motorom koji je preko remenice, lančanika ili kardana spojen na pogonsku osovinu (Matanović, 2013). Glavni dijelovi pogonskog sklopa isplačne pumpe su (Slika 3-3.):

- pogonjeni zupčanik (veliki gonjeni zupčanik),
- koljenasta osovina,
- pogonski zupčanik,
- klizne staze,
- brtva,
- stražnja klipnjača.



**Slika 3-3.** Glavni dijelovi pogonskog sklopa isplačne pumpe (Matanović, 2013)

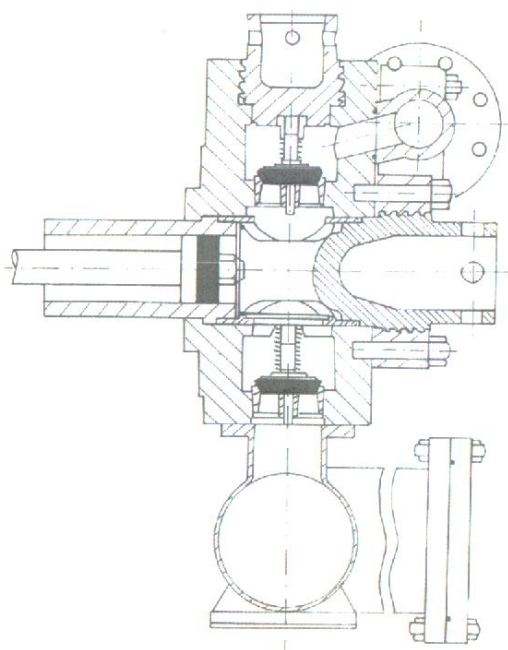
U slučaju remenskog ili lančanog prijenosa, remenica ili lančanic prenose energiju od pogonskog motora i predaju energiju malom zupčaniku koji se nalazi na pogonskoj osovini, a zatim mali zupčanik s pogonske osovine predaje energiju velikom gonjenom zupčaniku. Prijenosni omjer kod dvoradnih pumpi najčešće je 5, a kod jednoradnih to je 2,5. Veliki gonjeni zupčanik pričvršćen je na koljenastoj osovini te on svojim okretanjem ostvaruje pravocrtno kretanje stražnjih klipnjača. Stražnje klipnjače su povezane s križnim glavama s jedne strane te prednjim klipnjačama na suprotnoj strani (Matanović, 2013). Postoje pumpe koje umjesto para zupčanika za prijenos energije koriste lančani reduktor.

### **3.2. Hidraulički dio**

Kao što sama riječ govori, hidraulički dio isplačne pumpe sastoji se od dva, tri, četiri ili šest cilindara unutar kojih se kreće klip te na taj način ostvaruje određeni tlak i protok isplake. U pravilu ventili (usisni i tlačni) se nalaze samo se jedne strane cilindra ukoliko se radi o jednoradnim pumpama, te s jedne i druge strane ukoliko se radi o dvoradnim pumpama. Slika 3-4. prikazuje shematski prikaz hidrauličkog dijela jednoradne isplačne pumpe. Ovisno o smjeru kretanja klipa ostvaruje se usis ili tlačenje fluida dalje u sustav. Klip se nalazi na klipnjači koja se kreće unutar brtvi klipnjače i brtveće prirubnice, što sprječava gubitke isplake u području kretanja klipnjače. Veliku ulogu u sustavu ima tlak koji djeluje na brtveće elemente, najviše na brtveći element klipa, koji se naziva i klipna manžeta.

Sukladno tome treba odabrati odgovarajuću manžetu da bi brtvljenje bilo što efikasnije, a da se pri tome klip slobodno, bez značajnijeg trenja, kreće unutar cilindra.

Cilindar oko svojih krajeva također sadrži brtveće elemente. Ventili, tj. njihova sjedišta trebaju isto tako biti obložena brtvilima da se spriječi neželjeni izlazak/povratak isplake iz/u cilindra. Sva spomenuta brtvila izložena su djelovanju promjenjivog tlaka unutar sustava i trebaju izdržati taj utjecaj bez pojavljivanja protjecanja isplake kroz neko od navedenih brtvila.



**Slika 3-4.** Shematski prikaz hidrauličkog dijela jednoradne isplachne pumpe (Matanović, 2013)

### 3.2.1. Cilindri

Glavni dio svake pumpe čini cilindar zajedno s klipom i treba ih uvijek promatrati kao cjelinu. To najviše dolazi do izražaja kada se javi potreba za zamjenom jednog od ta dva djela zbog istrošenosti ili nekog drugog problema. Uvijek treba mijenjat obje komponente, bez obzira koja od njih je istrošena. Cilindri se, kao i ostala oprema, izrađuju prema API (engl. *American Petroleum Institute - API*) specifikacijama. Od proizvođača se zahtjeva izrada cilindra koji će imati toleranciju s obzirom na unutarnji promjer od 0,245 mm i da ulazna kosina bude minimalno 3,175 mm na 20°. Što se tiče materijala od kojeg se cilindar izrađuje, uvijek se poseže za materijalom koji je što otporniji na abraziju i koroziju te na trošenje koje izaziva klip svojim kretanjem. Način na koji se obrađuje materijal također podliježe tim zahtjevima. Materijal varira od kaljenih čelika do čelika otpornih na koroziju.

Toplinskom obradom unutrašnjosti povećava se tvrdoća stijenke i na taj način se smanjuje utjecaj trošenja cilindra klipom. Trajnost cilindra velikim djelom ovisi o zračnosti između klipa i cilindra. Preporuke su da ta zračnost bude manja od 0,762 mm pri manjim tlakovima, a kod većih tlakova trebala bi biti manja od 1,194 mm (Matanović, 2013) Prostor između cilindra i tijela pumpe mora biti dobro zabrtvljen pa se iz tog razloga koriste brtvila cilindra (Slika 3-5.) koja se izrađuju, sa ili bez međuprstenova, od specijalnih materijala koji su u stanju podnositi velike tlakove. Stezanja brtvila obavljaju se prema preporukama proizvođača kako bi dobili što efikasnije brtvljenje bez gubljenja isplake. Provjera brtvila obavlja se svakodnevno, a ako postoji potreba za dotezanjem, ono se obavlja kada pumpa nije pod tlakom.



**Slika 3-5.** Brtveći elementi cilindra pumpe (MECHANICAL POWER INC, 2020)

### 3.2.2. Usporedba jednoradnih i dvoradnih klipnih pumpi

Jednoradne pumpe potiskuju fluid samo jednom stranom klipa i to u kretanju prema naprijed dok dvoradne to rade pomoću obje strane klipa. Postoje još i diferencijalne klipne pumpe koje su rijetko u uporabi (Matanović, 2013). To su dvoradne pumpe koje smanjujući dobavu ujedno smanjuju i oscilacije toka isplake koje se javljaju u tlačnom dijelu te uravnotežuju dobavu. Jednoradne isplačne pumpe koriste se kada su u pitanju radovi kod kojih su potrebni visoki tlakovi i kontrolirane dobave. Kod ovih pumpi se javlja povećano trošenje klipa što je posljedica velike brzine kretanja klipa unutar cilindra. Iz tog razloga koristi se poluklip za razliku od klipa dvoradnih isplačnih pumpi. Prednost jednoradnih očituje se i u njihovoj masi u usporedni s dvoradnim pumpama. Naime, jednoradne su 40-50% lakše te ostvaruju veći broj hodova klipa u minuti (Matanović, 2013). Nedostatak

jednoradnih je to što je potreba za zamjenom klipnjača učestalija, no gledajući s vremenskog aspekta, zamjena klipova i cilindara kod jednoradnih je mnogo brža nego kod dvoradnih.

Ekonomski gledano, potrošni dijelovi jednoradne pumpe su dvostruko jeftiniji nego dijelovi dvoradne pumpe. Što se dobave tiče, ona direktno ovisi o broju hodova (Matanović, 2013). Kod jednoradnih pumpi, otvoreni kraj cilindra mora biti hlađen (najčešće se koristi voda) da bi se smanjilo pregrijavanje klipa, samim time i trošenje dijelova pumpe. Centrifugalne pumpe se koriste kao napojne pumpe brzohodnim jednoradnim pumpama.

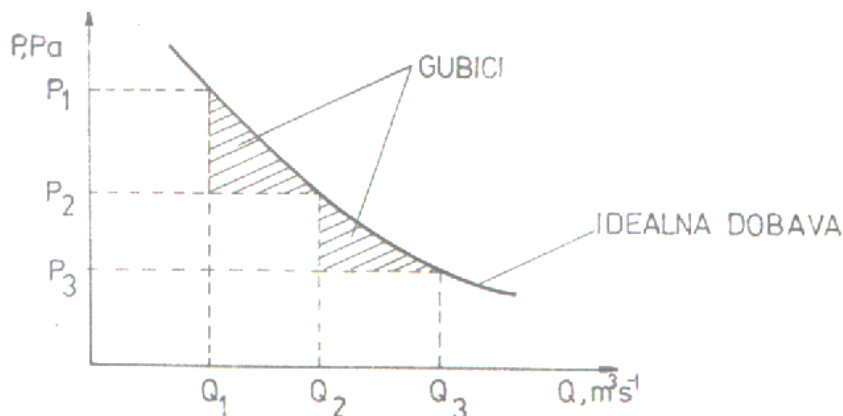
### 3.2.3. Ventili

Kao što je već spomenuto, na cilindrima isplačnih pumpi nalaze se tlačni i usisni ventil. Usisni ventil omogućuje usis isplake iz isplačnih bazena preko usisnog voda u pumpu, a tlačni ventil omogućuje prolaz isplake koju klip tlači van iz pumpe svojim kretanjem unutar cilindra. Dva navedena ventila odsjedaju u prostoru koji se naziva kućište ventila. Dimenzije tih kućišta su određene API specifikacijama (točnije API specifikacije 7K). Konus sjedišta ventila mora odgovarati konusu otvora kućišta, čime se osigurava brtvljenje metal na metal (Matanović, 2013) Opruga koja se nalazi u kućištu ventila mora osigurati pravilno otvaranje i zatvaranje ventila, smanjiti udaranje ventila, no s druge strane mora biti takva da nema utjecaj na veličinu tlaka otvaranja i zatvaranja ventila. Kao i kod sustava klip – cilindar, u slučaju istrošenosti ili tijela ventila ili sjedišta ventila, treba mijenjat i tijelo ventila i sjedište bez obzira koja komponenta je oštećena. Kod čišćenja ventila, čišćenje treba obavljati počevši s brtvenim elementima i poklopcem, a završiti čišćenjem konusa. Na taj način ne može doći do onečišćenja konusa jer se čisti posljednji. Nakon čišćenja, dosjedanje ventila trebalo bi biti moguće rukom, no ako to nije moguće potrebno je provjeriti dosjedne površine.

### 3.3. Dobava

Promjer kanala bušotine se mijenja, od najvećeg u početnoj fazi bušenja do najmanjeg u završnoj fazi bušenja, pa se stoga mijenja i potrebi tlak i protok koji isplačna pumpa mora ostvariti. Tlak koji pumpa kod protiskivanja treba ostvariti ovisi o radovima koji se obavljaju i otporima koji se ostvaruju kod protiskivanja isplake kroz bušaće alatke i kanal bušotine (Matanović, 2013). Zbrajanjem hidrauličkih otpora koji nastaju prolaskom isplake kroz površinski dio, bušaće alatke, dlijeto i prstenasti prostor određuju se otpori kretanju isplake. U idealnom slučaju tlak i kapacitet isplake mijenjaju se jednoliko, no to u praksi nije moguće

postići. U slučaju jednolike promjene tlaka i kapaciteta pumpe, umnožak tlaka ( $p$ ) i dobave ( $Q$ ) bio bi jednolik odnosno postigla bi se idealna dobava (Slika 3-6.).



**Slika 3-6.** Grafički prikaz odnosa dobave i tlaka kod isplačne pumpe (Matanović, 2013)

Dobava se regulira, bilo povećava ili smanjuje, promjenom cilindra i klipa pumpe. Promjenom tih segmenata pumpe mijenja se i maksimalni radni tlak. Maksimalni radni tlak može se regulirati jedino promjerom cilindra te ne ovisi o broju hodova klipa. Cilindri sadrže dio koji se naziva košuljica cilindra. Takozvanu košuljicu je moguće mijenjati s obzirom na uvijete koji reguliraju rad pumpe. Košuljice dolaze s različitim unutarnjim promjerima i mijenjajući njih, mijenjaju se i karakteristike pumpe, odnosno dovodi se pumpu sve bliže idealnim uvjetima rada.

Teoretska dobava za sve klipne pumpe računa se po obrascu (Matanović, 2013):

$$Q = i \cdot s \cdot n_k \cdot [A_c \cdot z - A_k \cdot (z - 1)] \quad (3-1.)$$

Gdje su:

$Q$  – teoretska,  $m^3 \cdot s^{-1}$

$A_c$  – površina presjeka klipa (ili provrta cilindra),  $m^2$

$s$  – hod klipa,  $m$

$i$  – broj cilindara

$n_k$  – broj hodova klipa,  $s^{-1}$



$A_k$  – površina presjeka klipnjače,  $m^2$

$z = 1$  za jednoradne pumpe

$z = 2$  za dvoradne pumpe

Za razliku od teoretske dobave, stvarna dobava ( $Q_s$ ) je manja zbog utjecaja inercije stupca isplake u usisnom vođu, tromog zatvaranja i otvaranja ventila te trošenja manžete klipa. Računa se pomoću sljedeće jednadžbe:

$$Q_s = \eta_v \cdot Q \quad (3-2.)$$

Gdje je:

$\eta_v$  – volumetrijski koeficijent punjenja pumpe, ovisno o uvjetima na usisu i općem stanju pumpe, a kreće se od 0,88 do 0,90 za dvoradne pumpe, dok se kod jednoradnih pumpi uz primjenu napojnih centrifugalnih pumpi uzima kao 1,0 (Matanović, 2013).

Osim spomenutog volumetrijskog koeficijenta, postoje još i hidraulički te mehanički stupanj korisnog djelovanja pumpe. Umnožak svih spomenutih koeficijenata kao rezultat daje ukupni stupanj korisnog djelovanja pumpe koji je u rasponu od 0,77 do 0,88:

$$\eta = \eta_v \cdot \eta_h \cdot \eta_m \quad (3-3.)$$

Gdje su:

$\eta_v$  – volumetrijski koeficijent, -

$\eta_h$  – hidraulički stupanj korisnog djelovanja, -

$\eta_m$  – mehanički stupanj korisnog djelovanja, -

Hidraulički stupanj korisnog djelovanja nalazi se u rasponu od 0,95 do 0,97 (Matanović, 2013):

$$\eta_h = \frac{p}{p_h} \quad (3.4.)$$

Gdje su:

$p$  – tlak koji se očitava na manometru odmah na izlazu iz pumpe, Pa

$p_h$  – stvarni tlak kojim klip tlači isplaku i veći je od  $p$  jer moraju biti savladani otpori strujanja unutar pumpe, Pa

Mehanički stupanj korisnog djelovanja pumpe nalazi se u rasponu od 0,9 do 0,95 (Matanović, 2013):

$$\eta_m = \frac{N_i}{N} \quad (3.5.)$$

Gdje su:

$N$  – snaga koju pumpa dobiva na pogonskoj osovini, W

$N_i$  – snaga koju klipovi prenose na isplaku te je ona zbog gubitaka uzrokovanih trenjem zupčanika, ležaja, križnih glava i klipnjača, manja od snage  $N$  (Matanović, 2013).

Kod klipnih pumpi, maksimalna snaga se predaje kod najveće brzine vrtnje koljenaste osovine (Matanović, 2013). Klipne pumpe, iz sigurnosnih razloga, vrlo rijetko rade s maksimalnim brojem hodova. Hidraulička snaga koju pumpa može ostvariti računa se pomoću sljedećeg izraza:

$$N_h = \frac{p \cdot Q}{\eta_h} \quad (3.6.)$$

Gdje su:

$N_h$  – hidraulička snaga, W

$p$  – tlak, Pa

$Q$  – dobava, m<sup>3</sup>/s

$\eta_h$  – hidraulički koeficijent korisnog učinka pumpe

Hidraulička snaga je snaga koje se predaje fluidu u hidrauličkom djelu, te kao i u mehaničkom djelu, postoje određeni gubici.

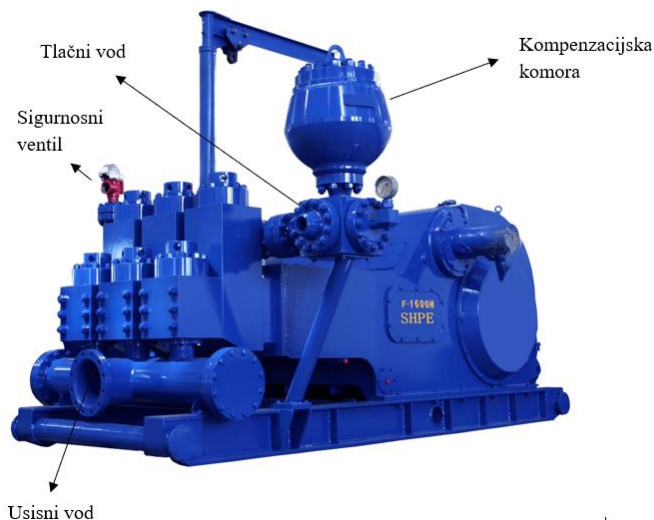
### 3.4. Ostali dijelovi isplačne pumpe

Isplačna klipna pumpa, spojena je na sustav za protiskivanje isplake pomoću dva voda koji se nazivaju usisni i tlačni vod. Na tlačnom vodu isplačne klipne pumpe nalazi se kompenzacijska komora i sigurnosni ventil čija će uloga, kao i samih vodova, biti opisana u nastavku. U nekim slučajevima, na usisni vod isplačne klipne pumpe postavlja se centrifugalna pumpa kao napojna pumpa te se time omogućava ravnomjerno punjenje cilindra tj. veći volumetrijski koeficijent punjenja pumpe. Samim time se povećava tlak u usisnom dijelu, a na tlačnom dijelu dobiva se ujednačeniji tlak ravnomjernija dobava.

#### 3.4.1. Usisni i tlačni vod

Usisni vod (Slika 3-7.) služi pumpi za crpljenje isplake iz usisnih bazena. Zbog izbjegavanja hidrauličkih gubitaka, usisni vod treba biti što ravniji, što kraći i što većeg mogućeg promjera. Na usisnom vodu se također nalazi komora za izjednačavanje tlaka na tom vodu čija je zadaća smanjenje hidrauličkih udaraca (Matanović, 2013). Na spoju usisnog voda sa usisnim bazenom, nalazi se sito koje sprječava ulazak većih predmeta ili krhotina u pumpu što bi dovelo do oštećenja pumpe.

Kao i usisni vod, tlačni vod (Slika 3-7.) također mora biti što jednostavniji budući da svako koljeno, iskrivljenje ili promjena promjera voda izaziva vibracije sustava koje je potrebno svesti na minimum. Svi dijelovi voda trebaju biti učvršćeni za noseću strukturu kako ne bi došlo do razlijevanja isplake po tornju u slučaju pucanja voda. Poželjno je variti cijevi voda, umjesto spajati ih navojnim spojevima.



**Slika 3-7.** Isplačna pumpa sa prikazanim tlačnim i usisnim vodom (SHPEUSA, n.d.)

### 3.4.2. Kompenzacijska komora i sigurnosni ventil

Kompenzacijska komora (Slika 3-8.) služi da se ujednačava tlak u tlačnom vodu. Na taj način omogućava se ujednačenija dobava, tj. smanjuju se vibracije tlačnog voda i gibljivog crijeva te se osigurava jednolik tlak na mlaznicama dlijeta. Komora je punjena dušikom pod tlakom koji preporučuje proizvođač i ugrađuje se što bliže tlačnom ventilu pumpe.

Sigurnosni ventil (Slika 3-9.) se, isto kao i kompenzacijska komora, postavlja na tlači vod što bliže pumpi i on služi da zaštitu pumpe. Naime, dođe li do začepljenja u nekom djelu tlačnog voda ili na razini mlaznica dlijeta, pločica koja je atestirana na određen tlak puca i omogućava izlazak isplake iz tlačnog voda u usisni bazen pomoću odušnog voda i na taj način štiti pumpu od mogućih oštećenja.



**Slika 3-8.** Kompenzacijska komora (CAMTOP SHANGHAI MACHINERY EQUIPMENT CO., n.d.)



**Slika 3-9.** Sigurnosni ventil (OILDRILLINGCN, 2019)

## **4. NAJČEŠĆA OŠTEĆENJA I UZROCI OŠTEĆENJA DIJELOVA ISPLAČNIH PUMPI**

U ovom poglavlju bit će opisana neka od najčešćih oštećenja isplačnih klipnih pumpi te istaknuti njihovi uzroci, što je iznimno bitno u pronalaženju rješenja kako bi se učestalost tih oštećenja svela na minimum.

### **4.1. Prekomjerno trošenje košuljice i/ili tijela klipa**

Kada tijekom bušenja nije potrebno ostvariti visoke tlakove protiskivanja isplake, nego niže tlakove, tj. tlakove manje od  $5,86 \times 10^6$  Pa, zbog trošenja pojavljuje se zazor kod kojega je potrebno mijenjati klip i/ili košuljicu cilindra. Zazor je prostor između prirubnice klipa i stijenke košuljice, a vrijednost kod koje je potrebno izvršiti zamjenu klipa i/ili košuljice cilindra iznosi 0,00238125 m kod malih tlakova. Kod osrednjih tlakova (od  $5,86 \times 10^6$  Pa do  $1,1 \times 10^7$  Pa) zazor kod kojeg je potrebno mijenjati spomenute dijelove isplačne pumpe iznosi 1/16 početnog zazora. Kod visokih tlakova (od  $1,1 \times 10^7$  Pa do  $2,21 \times 10^7$  Pa) dozvoljeni zazor iznosi 0,04 početnog zazora (IADC Drilling manual, 2000). Također, kao što je ranije i naglašeno ne smiju se koristiti istrošeni klipovi u novim košuljicama ili u novi klipovi u istrošenim košuljicama (Matanović, 2013).

### **4.2. Pojava rupa na košuljici cilindra**

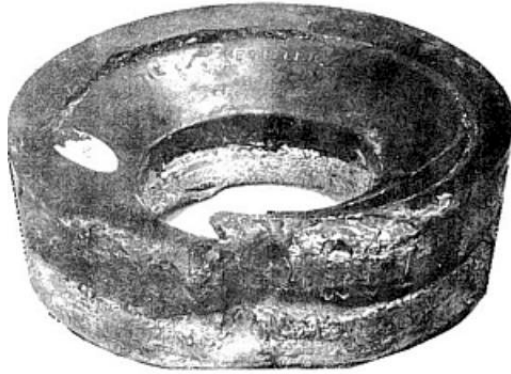
Pojava ovakvih oštećenja ukazuje na korozivne uvijete koji vladaju u isplačnom sustavu. U tom slučaju potrebno je provjeriti pH vrijednost isplake i ako je potrebno, pomoću odgovarajućih aditiva, korigirati pH vrijednost koja bi trebala biti iznad 7,2. Ako je prisutna jaka korozija uzrokovana djelovanjem isplake poseže se za košuljicama otpornima na koroziju. Korozija osim na košuljicu cilindra djeluje uvelike i na ventile, klipove i brtveće elemente (Matanović, 2013).

### **4.3. Trošenje samo jedne strane klipa i košuljice cilindra**

Trošenje samo jedne strane klipa i košuljice cilindra je u potpunosti normalna pojava, no ako se radi o prekomjernom trošenju tada to ukazuje na probleme u radu nekih od dijelova isplačne pumpe. Ako je trošenje ne koncentrično i ako postoji veće trošenje npr. na gornjoj strani klipa, potrebno je provjeriti postoje li oštećenja križnih glava, brtvenih kućišta ili brtvećih elemenata (Matanović, 2013).

#### **4.4. Oštećenje brtvećih elemenata uzrokovano korištenjem uljne isplake**

Kod bušenja korištenjem uljne isplake može doći do bubrenja i propadanja guma brtvećih elemenata (Slika 4-1.).



**Slika 4-1.** Oštećena guma brtvećeg elementa (IADC Drilling manual, 2000)

#### **4.5. Nenormalno trošenje ili lom**

Korištenje novih dijelova u kombinaciji s istrošenim spojnim dijelovima često rezultira vrlo brzim kvarom jednog ili oba, novog ili istrošenog dijela.

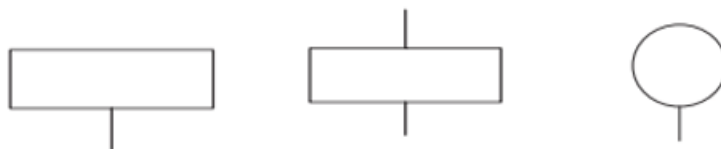
#### **4.6. Pojava pijeska i ostatka krhotina**

Ako se u isplaci pojave pijesak ili ostaci krhotina, što upućuje i na loš rad površinskog sustava za čišćenje isplake, dolazi do oštećenje više-manje svih dijelova hidrauličkog dijela pume, od klipa, cilindra, preko brtvećih elemenata do ventila i njihovih sjedišta.

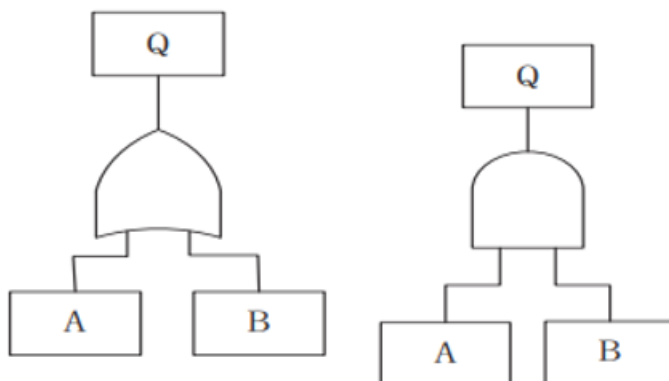
## 5. ANALIZA KVAROVA ISPLAČNIH KLIPNIH PUMPI

Logički dijagrami i stabla odlučivanja koriste se u svim industrijama, a u nastavku teksta bit će detaljno opisana njihova primjena u analizi uzroka kvarova isplačnih pumpi ili uvjeta koji do njih mogu dovesti. To je najvažnija metoda koja se u današnje vrijeme koristi za procjenu pouzdanosti nekog sustava. Metoda se sastoji od izrade logičnih dijagrama, koji se sastoje od logičnih simbola i analiziranja čimbenika koji uzrokuju kvarove.

Simboli koji se pojavljuju u logičnom dijagramu su: simboli primarnih događaja (Slika 5-1.) i simboli logičnih vrata (Slika 5-2.).



**Slika 5-1.** Osnovni, kondicijski elementi i konačni (donji) događaj (Dandan i dr., 2014)



**Slika 5-2.** Simboli logičnih vrata (prva su „ILI“ vrata, a druga su „I“ vrata) (Dandan i dr., 2014)



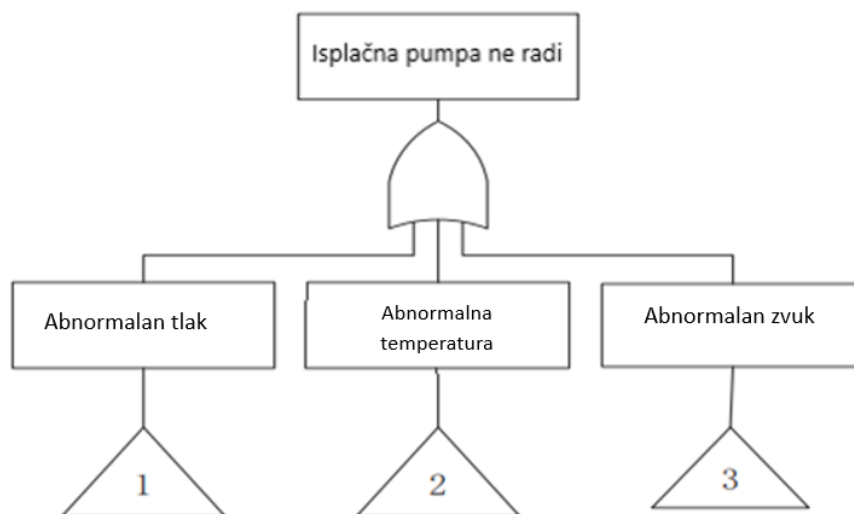
### 5.1. Analiza kvarova isplachnih pumpi pomoću stabla odlučivanja

Kao što je već spomenuto, isplachne pumpe sastoje se od pogonskog i hidrauličkog dijela. Najčešći kvarovi, što se tiče pogonskog dijela, odnose se na oštećenja zupčanika i remenica, ležajeva i križnih glava. U hidrauličkom dijelu najčešće dolazi do oštećenja u sustavu cilindar – klip, oštećenja brtvećih elemenata zbog korozivnog djelovanja isplake i oštećenja ventila. Tablica 5-1. prikazuje vjerojatnosti pojave kvarova isplachne pumpe.

**Tablica 5-1. Prikaz kvarova sa vjerojatnostima pojave svakog od njih** (Dandan i dr., 2014)

Broj	Vrsta kvara	Vjerojatnost kvara
X1	Ventil jako istrošen ili oštećen	$\lambda_1 = 1/3710$
X2	Klip jako istrošen ili oštećen	$\lambda_2 = 1/8340$
X3	Pojava zraka u cilindru pumpe	$\lambda_3 = 1/300$
X4	Otpuštanje matice klipa	$\lambda_4 = 1/150$
X5	Istrošenost košuljice cilindra	$\lambda_5 = 1/500$
X6	Poklopac cilindra je labav	$\lambda_6 = 1/4$
X7	Istrošenost klipnjače	$\lambda_7 = 1/1000$
X8	Ozbiljno trošenje kliznih staza	$\lambda_8 = 1/7680$
X9	Otpuštanje ploče	$\lambda_9 = 1/7680$
X10	Tlačni vod nije dobro zabrtvljen	$\lambda_{10} = 1/3430$
X11	Blokirano sito	$\lambda_{11} = 1/3425$
X12	Istrošenost klipne manžete	$\lambda_{12} = 1/250$
X13	Konektor za punjenje je blokiran	$\lambda_{13} = 1/168$
X14	Cijev za ulje ili otvor za ulje začepljeni	$\lambda_{14} = 1/2860$
X15	Mazivo je previše prljavo	$\lambda_{15} = 1/4320$

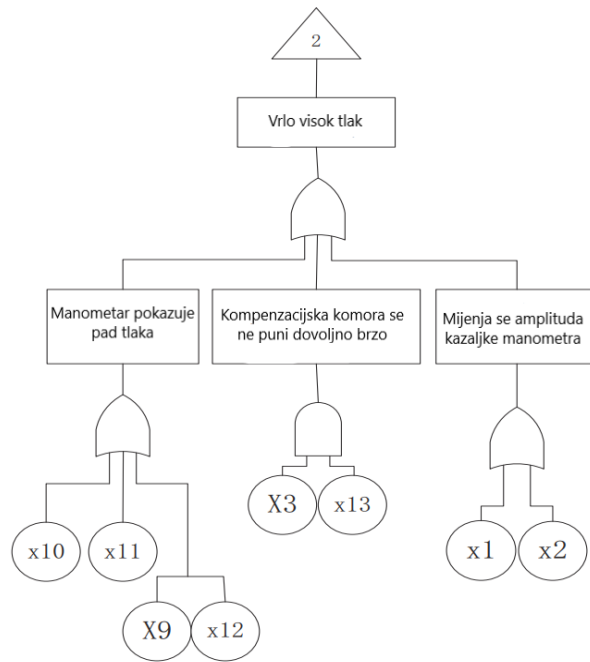
Postoje tri glavne indikacije oštećenja zbog kojih se pumpa zaustavlja u svom radu (Slika 5-3.), a to su: abnormalna temperatura ili tlak te buka koju proizvodi pumpa tijekom rada.



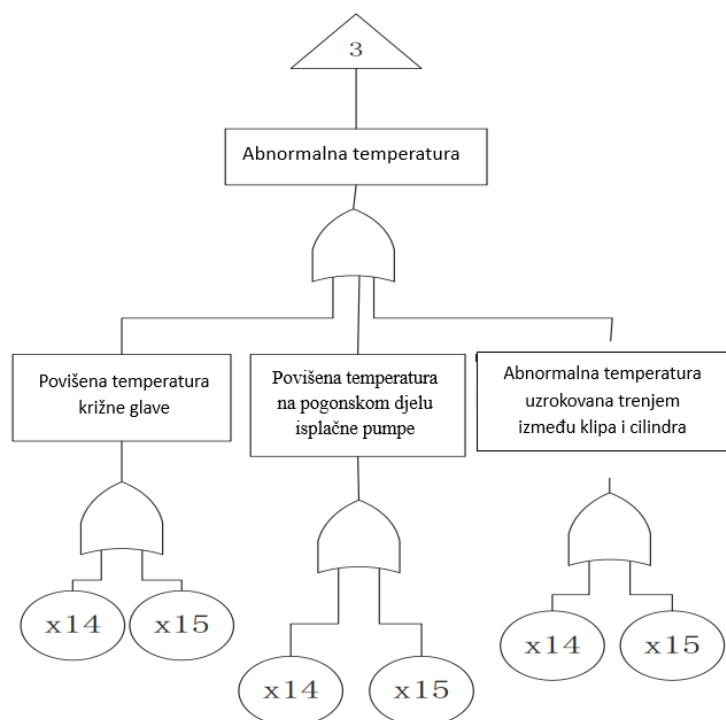
**Slika 5-3.** Glavno stablo kvarova klipnih isplachnih pumpi (Dandan i dr., 2014)

Glavno stablo kvarova isplachne pumpe (Slika 5-3.) podijeljeno je na tri grane koje opisuju moguće kvarove vezano uz svaku od spomenute tri indikacije problema u radu isplachne pumpe (Slike 5-4., 5-5. i 5-6.) . U nastavku će biti opisan način na koji se analiziraju kvarovi isplachnih pumpi pomoću stabla kvarova za slučaj pojave abnormalnog tlaka u pumpi.

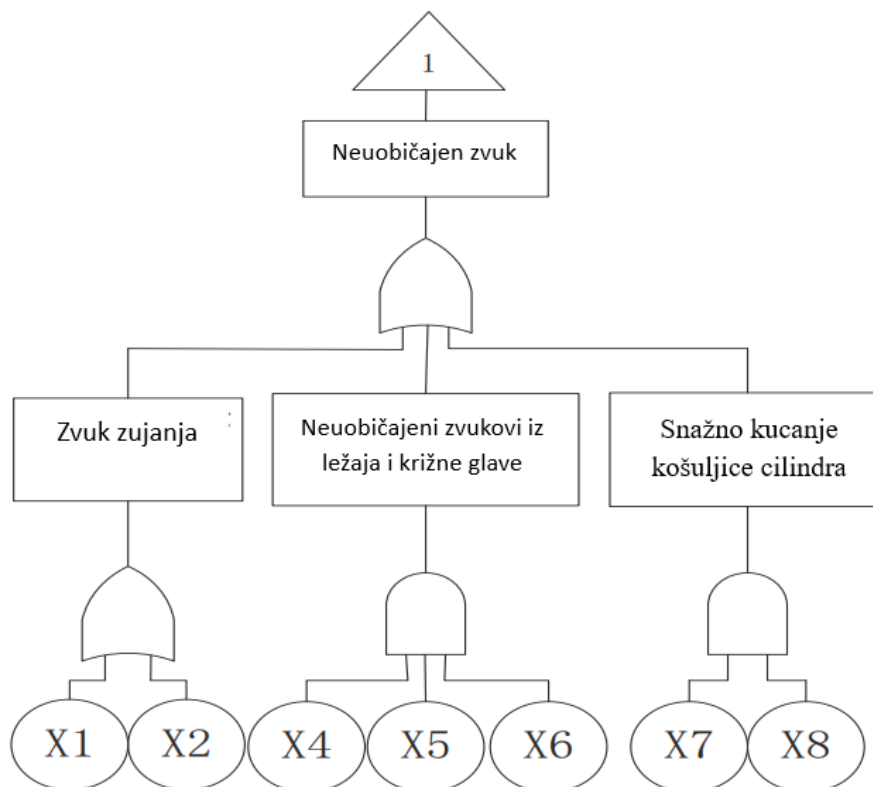
Postoje tri situacije koje se mogu povezati s pojavom abnormalnog tlaka u radu isplachne klipne pumpe. Prva je kada manometar pokazuje nagli pad tlaka fluida u tlačnom vodu. Uzrok tome mogu biti kvarovi označeni s X10, X11, X9 i X12 u Tablici 5-1, točnije kvar može uzrokovati npr. propuštanje na tlačnom vodu ili začepljenost sita na usisnoj strani. Druga situacija je kada se kompenzacijska komora ne puni ili prazni dovoljnom brzinom . Uzrok toj pojavi mogu biti kvarovi pod brojem X3 i X13 (redni brojevi sa pripadajućim kvarovima navedeni su u Tablici 5-1.). Treća situacija podrazumijeva promjene u amplitudi kazaljke manometra, što upućuje na moguće kvarove pod brojem X1 i X2. Ovime je ukratko opisano na koji način se određuju mogući nastanci kvarova isplachnih pumpi iz stabla kvarova.



**Slika 5-4.** Stablo kvarova kod analize problema vezanih uz pojavu vrlo visokog tlaka u isplačnoj pumpi (Dandan i dr., 2014)



**Slika 5-5.** Stablo kvarova za pojavu abnormalne temperature (Dandan i dr., 2014)



**Slika 5-6.** Stablo kvarova za pojavu buke (Dandan i dr., 2014)

Osim očitavanja iz stabla kvarova, postoji i kvantitativna metoda pomoću koje se izračunavaju vjerojatnosti pojave određenog kvara na način da se izračunava vjerojatnost pojave kvara glavnog događaja koja se temelji na vjerojatnosti osnovnih elemenata. Vjerojatnosti kvara prikazane su u zadnjem stupcu Tablice 5-1.

## 6. TEHNIČKA ANALIZA KVAROVA ISPLAČNE PUMPE

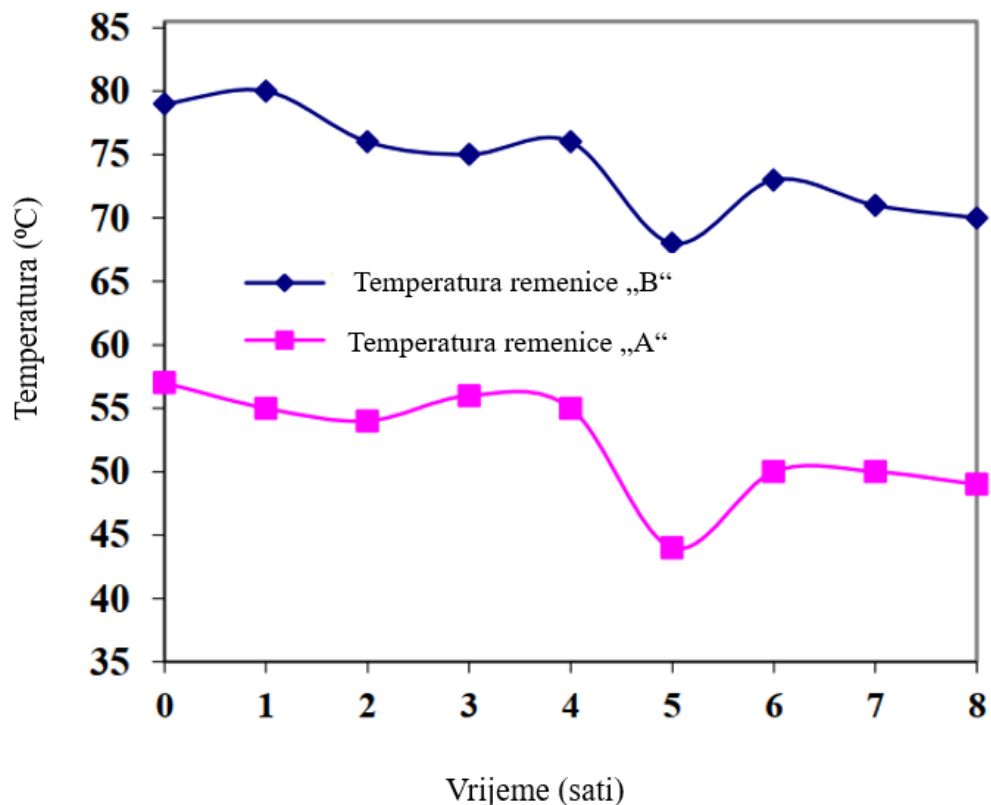
Iranska nacionalna naftna kompanija izrađivala je bušotine primjenom postrojenja na kojima su bile instalirane isplačne pumpe jedinične snage 1176,798 kW kineskog proizvođača. Tijekom izvođenja bušaćih operacija, protiskivanje isplake ostvarivano je pomoću dvije pumpe već spomenute snage. Na primjeru tih pumpi i spomenutog konkretnog slučaja bušenja Iranske naftne kompanije, u nastavku će biti opisani tipični kvarovi koji su se vrlo često pojavljivali. Proces bušenja je tekao nesmetano sve do trenutka kada je bušać primijetio promjenu u broju hodova, tj. smanjenje broja hodova na prvoj pumpi. Naime, uz smanjenje broja hodova, remeni pumpe su postali bučniji no inače i počeli su klizati s remenicama. To je uzrokovalo velike vibracije u samoj pumpi i pojavu dima na elektromotorima. Nakon što su spomenute promjene registrirane, izmjerena je temperatura na oba elektromotora od kojih je jedan pokazivao temperaturu od 60 °C, a drugi, onaj koji je pokretao oštećenu pumpu, 140 °C. Zatim se pristupilo provjeri isplačne pumpe, pokrov remenice je uklonjen i uočeno je puknuće jedne karike remenice što je moguće vidjeti na Slici 6-1. Pukotina je prouzročila povećanje vanjskog promjera remenice sa 1180 mm na 1184 mm, tj. za 4 mm. Zbog promjene vanjskog promjera došlo je do pojave ekscentrične rotacije remenice što je prouzročilo vibracije u radu pumpe.



**Slika 6-1.** Puknuće karike remenice (Khademi-Zahedi i dr., 2014)

Prvi pokušaj saniranja oštećenja nije uspio. Naime, zbog uštede vremena, karika remenice je jednostavno zavarena. Nakon puštanja pumpe ponovo u rad došlo je do ponovnog pucanja na istom mjestu samo nekoliko sati kasnije. To je ukazalo na to da je potrebno mijenjati cijelu remenicu. Ugrađena je remenica vanjskog promjera 1050 mm sa 12 utora, te je

istovremeno, ugrađen i novi remen. Nakon ugradnje novih dijelova, pumpa je puštena u rad i broj hodova je fiksiran na 75 hodova u minuti. Ponovo se pojavila buka i klizanje remena s remenice. Bušač je na to reagirao smanjenjem broja hodova pumpe, no to nije pomoglo u normaliziranju rada pumpe. Da bi otkrio uzrok problema u radu pumpe upotrijebljeni su digitalni termometri pomoću kojih je mjerena temperatura u području remenica obje pumpe i uočeno je da termometar koji mjeri temperaturu remenice kod pumpe na kojoj je prethodno obavljanja zamjena pokazuje veću temperaturu u odnosu na termometar na remenici druge pumpe. Podaci, tj. temperature, su mjereni od 00:00 do 08:00 sati pri tlaku pumpe od  $1,72 \times 10^7$  Pa i 75 hodova u minuti (Slika 6-2.)



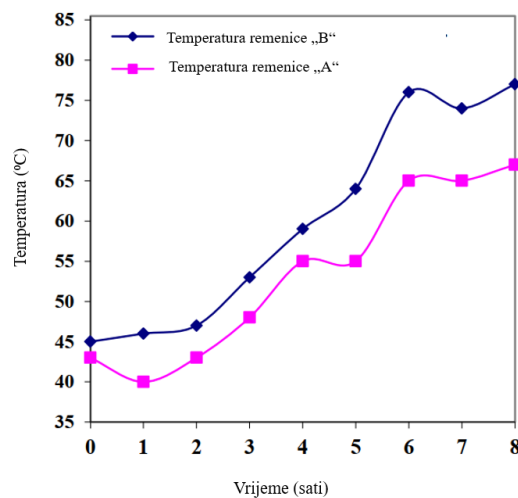
**Slika 6-2.** Rezultati prvog mjerenja temperature remenice (Khademi-Zahedi i dr., 2014)

Nakon obavljenog mjerenja i ustanovljene više temperature na jednoj od korištenih pumpi, pristupilo se provjeri remenice, uočeno je oštećenje jednog od utora remenice (Slika 6-3.). Oštećenje je ukazalo na odabir lošeg i nekvalitetnog materijala uzevši u obzir uvjete rada ovog tipa klipnih pumpi.



**Slika 6-3.** Oštećenje utora remenice (Khademi-Zahedi i dr., 2014)

Odlučeno je da se zamjeni remenica novom koja je od kvalitetnijeg materijala. Nakon ugradnje nove remenice ponovljen je postupak mjerenja temperature na remenici pomoću digitalnog termometra i dobiveni su novi rezultati koji su prikazani na Slici 6-4. Uočeno je da je temperatura na novo ugrađenoj remenici i dalje viša u odnosu na remenicu druge pumpe kod koje nije bilo oštećenja tijekom rada. Za vrijeme mjerenja temperature, pumpa je radila sa 80 hodova u minuti pri tlaku od  $2,14 \times 10^7$  Pa. Uočeno je i da temperature obje remenice rastu s vremenom rada pumpe.



**Slika 6-4.** Rezultati drugog mjerenja temperature remenice (Khademi-Zahedi i dr., 2014)

Nakon nekog vremena, bilo je potrebno povećati broj hodova pumpe s obzirom na napredak bušenja. S povećanjem hodova došlo je i do povećanja temperature na remenici, a temperatura se popela na  $124$  °C te je remen ponovo počeo klizati s remenice i proizvoditi buku. Zbog konstantnih pojava istog problema te zbog prevencije nastanka novih oštećenja, odlučeno je da se ugradi lančani prijenos umjesto prijenosa sa remenicom i remenom. Nakon

što je lančani prijenos ugrađen, bušenje je nastavljeno i više nije bilo potreba za gašenjem pumpe zbog problema u radu.

Kod bušenja nove bušotine došlo je do pojave novog kvara pumpe. Kod protiskivanja bentonitne suspenzije do dubine od 939 metara, pumpa je radila sa 75 hoda u minuti pri tlaku od  $1,93 \times 10^7$  Pa. U jednom trenutku pumpa je počela bučno raditi što ukazuje na pojavu kvara. Nakon gašenja pumpe i obavljanja provjere ustanovljeno je da je došlo do pucanja vijka nosača glavnog ležaja. Kvar je otklonjen na jednostavan način, tj. ugradnjom novih dijelova. Ugrađen je novi vijak nosača ležaja, koljenasto vratilo, ležajevi, klinovi križnih glava i križne glave. Nakon operacije ugradnje novih dijelova, pumpa je ponovo puštena u rad i radila je bez daljnjih kvarova i zaustavljanja.

Kod operacija bušenja naftnih bušotina za Iransku naftnu kompaniju došlo je i do jednog ozbiljnog kvara isplačne pumpe. Pomoću pumpe se protiskivala isplaka vrlo velike gustoće od  $2450 \text{ kg/m}^3$  na bušotini dubine 2259 metara. Pumpa je radila sa 75 hodova u minuti pri tlaku od  $1,99 \cdot 10^7$  Pa, te je došlo do oštećenja pogonskog dijela pumpe, točnije glavnih ležajeva, vijaka nosača ležajeva, ležajeva klipnjača, koljenastog vratila i zupčanika koljenastog vratila. Oštećenje je bilo preveliko i u ekonomskom smislu bilo je neisplativo popravljati oštećene dijelove pumpe. Problem je riješen ugradnjom sasvim nove pumpe na bušaće postrojenje i nastavkom bušenja.



## 7. TEHNIČKI PROBLEMI ISPLAČNIH PUMPI KOD POSTROJENJA ZA BUŠENJA VRLO DUBOKIH BUŠOTINA NA MORU

Operacija bušenja bušotina na moru su mnogo složenije nego na kopnu, posebice ako se one odvijaju u područjima dubokih mora. Bušenje takvih bušotina zahtjeva primjenu isplačnih pumpi koje su u mogućnosti ostvariti mnogo veći tlak protiskivanja isplake nego pumpe koje se koriste tijekom operacija bušenja na kopnu (Bejger i Piasecki, 2013). Konkretno, radi se o tlakovima do  $5,17 \times 10^7$  Pa. Isplaka se sastoji od kontinuirane faze, u većini slučajeva je to voda, i aditiva koje se u nju dodaju radi podešavanja određenih svojstava. Upravo primjena aditiva uzrokuje probleme kod rada pumpe, a u najgorem slučaju i do oštećenja koja dovode do prekida rada.

Pumpe koje se koriste za bušenje na ovakvim lokacijama su trocilindrične jednoradne isplačne pumpe (Slika 7-1.) koje napajaju centrifugalne pumpe. Sustav se sastoji od četiri pumpe od kojih su 3 u radu, a jedna je pričuvna i spremna za početak rada u bilo kojem trenutku ako dođe do potrebe za gašenjem neke od pumpi u radu.



**Slika 7-1.** Trocilindrična jednoradna isplačna pumpa (Bejger i Piasecki, 2013)

Kvarovi kod ovih pumpi najviše ovise o već spomenutim aditivima koji se dodaju u isplaku, tj. o agresivnom djelovanju kemikalija na dijelove pumpe. Aditivi svojim agresivnim djelovanjem najviše pogađaju brtveće elemente pumpe, posebice brtveće elemente usisnih i tlačnih ventila. Nadalje, djelovanjem pojedinih aditiva, dolazi do promjene u zračnosti sustava cilindar – klip, tj. prostor između cilindra i klipa postaje sve veći i pumpa gubi na svojoj efikasnosti jer klip ne istiskuje svu tekućinu svojim kretanjem.

Intenzivnim bušenjem, kada su potrebe za isplakom konstantne, svakih nekoliko sati može doći o spomenutih oštećenja.

Oštećenja u sastavu cilindar – klip lako je uočiti, no oštećenja ventila ipak nije tako jednostavno detektirati. Ta oštećenja se mogu otkriti nakon nekog vremena kada dođe do problema s održavanjem radnog tlaka pumpe. Vrijednosti tlaka počinju varirati i to je prvi signal koji ukazuje na moguće oštećenje ventila pumpe. U slučaju oštećenja ventila, pumpa mora prestati s radom, a ventili trebaju biti zamijenjeni novima.

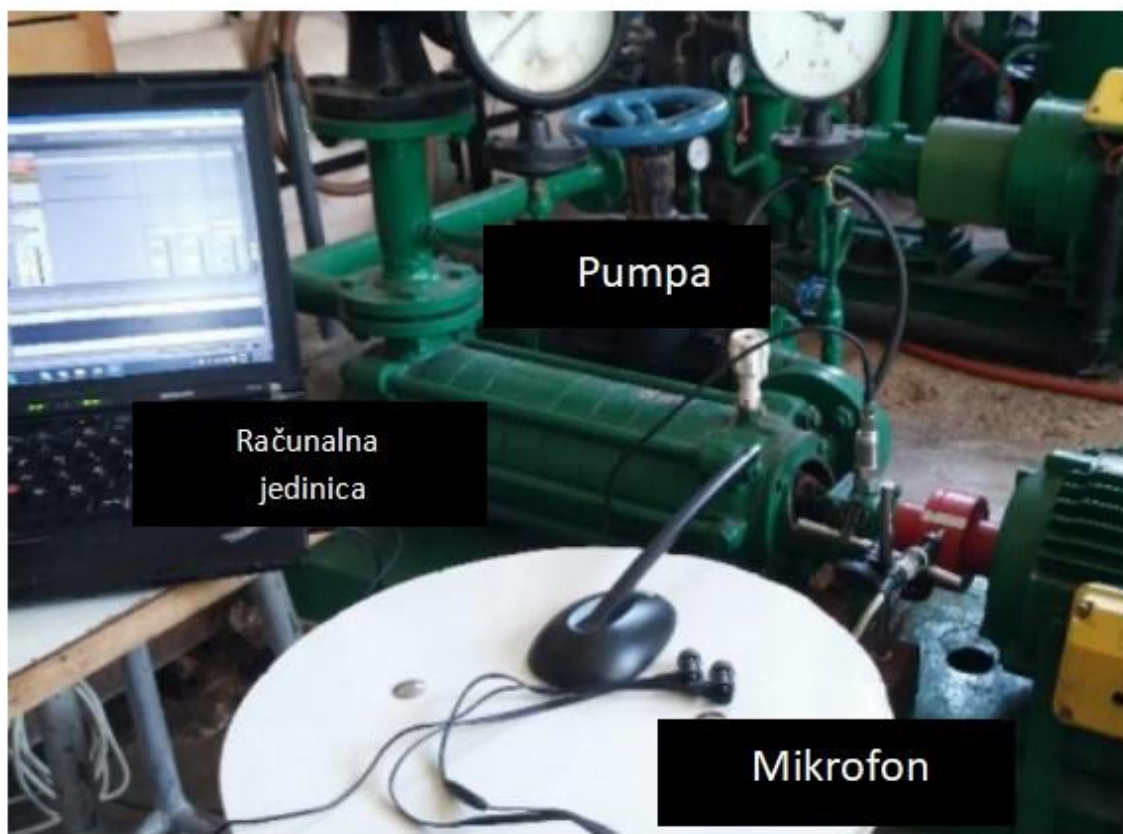
Druga metoda provjere radi li se o oštećenju ventila (Slika 7-2.) je takozvana „metoda slušanja“ pumpe. Problem kod te metode je taj što ona ne daje u potpunosti točne informacije, tj. ne može se sa sigurnošću reći radi li se o oštećenju ventila ili ne. Akustična metoda, tj. način na koji je moguće otkrivati kvarove pumpe slušajući zvukove koje ona proizvodi, bit će opisana kasnije u radu. Još jedan nedostatak ove metode je to što pumpe rade pod velikim tlakovima što je vrlo bučno, a tu su i centrifugalne pumpe koje također podižu razinu buke tijekom rada sustava. Rezultat toga je nemogućnost koncentriranja na zvuk samo jedne pumpe, a u nekim slučajevima može doći i to ozljede radnika zbog velike razine buke.



**Slika7-2.** Oštećenje sjedišta ventila pumpe (Bejger i Piasecki, 2013)

## 8. KORIŠTENJE AUDIO PODATAKA ZA OTKRIVANJE OŠTEĆENJA ISPLAČNIH PUMPI

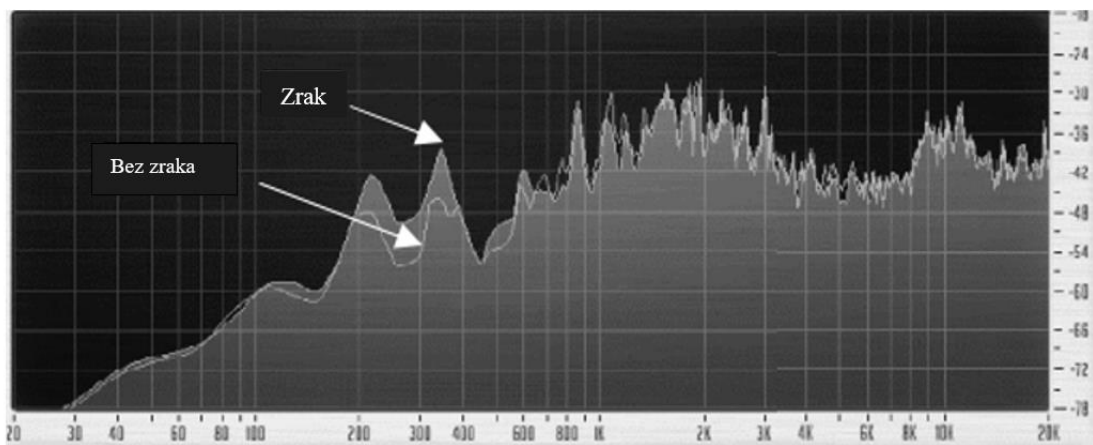
Zvuk je vibracija koja se širi kao zvučni mehanički val pritiska i pomaka. Standardna svojstva zvučnih valova mogu se lako osjetiti generičkim mikrofonima koji se koriste u ovoj metodi za otkrivanje problema kod rada isplačne pumpe (Teodoriu i dr., 2018). Ta svojstva su: frekvencija, amplituda, brzina i smjer. Mikrofon pretvara zvučne signale, koji prolaze kroz područja različitih tlakova, u električne signale koje softver koristi za prikazivanje podataka. Najbitnija oprema koja je potrebna za provođenje ove metode su mikroskop i računalni program za analizu podataka. Princip rada će biti objašnjen na primjeru centrifugalne pumpe za koju se najviše i koristi, točnije za identificiranje pojave zraka u pumpi, tj. kavitacije.



**Slika 8-1.** Oprema za audio praćenje rada centrifugalne pumpe (Teodoriu i dr., 2018)

Kao što je već spomenuto, kavitacija je pojava zraka, tj. mjehurića, unutar isplake koju protiskuje centrifugalna pumpa. Nakon što se sva potrebna oprema postavi na način prikazan

na Slici 8-1. mjerenje može započeti. Zrak je namjerno dodavan u sustav da se zabilježe promjene na grafovima i na taj način dokaže da je moguće identificirati pojavu zraka u sustavu pomoću ove metode. Budući da je pumpa namijenjena samo za protiskivanje tekućina, svaka pojava zraka će uzrokovati vibracije i promjenu razine buke rada pumpe. Na Slici 8-2. prikazan je audio zapis nakon dvije minute rada pumpe. Na tom zapisu se jasno može vidjeti pojava zraka u sustavu što ukazuje na to da je metoda učinkovita za opisanu situaciju.



**Slika 8-2.** Detekcija pojave kavitacije u centrifugalnoj pumpi zbog zraka u protiskivanom fluidu (Teodoriu i dr., 2018)

Testiranje je provedeno na različitim frekvencijama i svako testiranje je dalo dobre rezultate. U novije vrijeme koriste se alarmi koji daju znak, na temelju audio praćenja, da je došlo do kavitacije.

## 9. ZAKLJUČAK

Isplachne pumpe omogućuju proces izrade kanala bušotine svojim radom, tj. protiskivanjem isplake. Korištenjem odgovarajuće pumpe može se postići maksimalna učinkovitost procesa bušenja, a samim time i bolji napredak u smislu izbušenih metara u jedinici vremena.

Pumpe treba koristiti na pametan način, tj. treba osigurati što manji rizik od oštećenja tijekom njihovog rada. Treba paziti na tlakove i dobave koje određena pumpa može postići, te nikako ne bi trebalo dozvoliti preopterećenje tijekom njihovog rada. Oštećenja isplachnih pumpi ovise o uvjetima koji vladaju tijekom bušenja, npr. ako se buši na većim dubinama, ako se zahtijevaju veća gustoća i viskoznost isplake, potreban je i veći tlak kojim pumpa protiskuje isplaku, što uzrokuje ubrzano trošenje dijelova pumpe i prije dolazi do oštećenja i posljedično pojave kvara. Nije svejedno ni kakva isplaka se koristi te kakva su njena svojstva jer isplaka također može igrati vrlo važnu ulogu u trošenju dijelova pumpe i nastanka oštećenja, npr. negativno djelovanje uljnih isplaka na gume brtvećih elemenata. Do oštećenja može doći i zbog zamora materijala, a to se može izbjeći jedino konstantnim provjerama stanja pojedinih dijelova isplachne pumpe i njihovom pravovremenom zamjenom.

Oštećenja isplachnih pumpi treba svesti na minimum kao i one uzroke oštećenja na koje radnici mogu utjecati. Ako dođe do oštećenja, javlja se potreba za gašenjem pumpe, u nekim slučajevima i do prestanka bušenja. Takvi scenariji su u naftnoj industriji nepoželjni budući da se prestankom bušenja generira finansijski gubitak. Što je više kvarova, veće su potrebe za zamjenom oštećenih dijelova što uzrokuje dodatke neplanirane troškove.

## 10. LITERATURA

1. BEJGER, A., PIASECKI, T. 2013. Technical problems of mud pumps on ultra deepwater drilling rigs. *Zeszyty Naukowe/Akademia Morska w Szczecinie*, (36 (108) z. 2), 13-16.
2. CAMTOP SHANGHAI MACHINERY EQUIPMENT CO., n.d. Pulsation Dampener Assembly for Drilling Mud Pump.  
URL:<https://www.camtop-oilfieldtools.com/product/pulsation-dampener-assembly/> (28.08.2023.)
3. DANDAN HU, SUN, Y., FU, J., LI, J., & ZHANG, E. 2014. Mud Pump System Fault Tree Analysis. In *2014 fourth international conference on instrumentation and measurement, computer, communication and control* (pp. 756-759). IEEE.
4. IADC Drilling Manual. *Houston, USA*. 2000.
5. KHADEMI-ZAHEDI, R., MAKVANDI, M., & SHISHESAZ, M. 2014. Technical analysis of the failures in a typical drilling mud pump during field operation. In *Proceedings of the 22nd Annual International Conference on Mechanical Engineering—ISME2014, Ahvaz, Iran* (pp. 22-24).
6. MATANOVIĆ, D. 2013. *Tehnika izrade bušotina: Priručnik s primjerima*. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet.
7. MECHANICAL POWER INC. 2020. What Are Hydraulic Cylinder Seals?  
URL:<https://www.mechanicalpower.net/blog/hydraulic-cylinder/what-are-hydraulic-cylinder-seals/> (30.06.2023.)
8. OILDRILLINGCN. 2019. Safety Valve, Mud Pump Replacement Parts  
URL: <http://oildrillingcn.com/2019/4-7-safety-valve.html> (30.05.2023.)
9. PUMPS&SYSTEMS. 2012. Understanding the Modern Mud Pump.  
URL: <https://www.pumpsandsystems.com/triplex-pumps> (30.05.2023.)
10. SAFSEALS. 2023. Pioneer Replacement Seals.  
URL: <https://safseals.com/pioneer-replacement-seals/> (24.06.2023.)
11. SHANGAREEV, R. 2020. Assessment of professional risks in the operation of mud pumps. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering  
URL: [https://www.researchgate.net/figure/Scheme-of-the-UNB-600-mud-pump-with-safety-devices-1-receiving-box-2-hydraulic-box-3\\_fig2\\_343891294](https://www.researchgate.net/figure/Scheme-of-the-UNB-600-mud-pump-with-safety-devices-1-receiving-box-2-hydraulic-box-3_fig2_343891294) (24.06.2023.)
12. SHPEUSA. n.d. F1600L high pressure mud pump.  
URL: <https://www.shpeusa.com/f1600l.html> (02.06.2023.)

13. SKF, Guide rings and guide strips.  
URL:<https://www.skf.com/us/products/industrial-seals/hydraulic-seals/guide-rings-and-guide-strips> (30.05.2023.)
14. TEODORIU, C., ICHIM, A., SRIVASTAVA, S., MINESCU, M. 2018. Listening to your pump?: Mud Pump Diagnosis and Optimization Using Audio Data. In *AADE Fluids Technical Conference and Exhibition, Houston, Texas, US* (pp. 10-11).

## IZJAVA

*Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno na temelju znanja stečenih na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu služeći se navedenom literaturom.*

*Domagoj D.*

---

Domagoj Grahovac





KLASA: 602-01/23-01/91  
URBROJ: 251-70-12-23-2  
U Zagrebu, 29.08.2023.

Domagoj Grahovac, student

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/23-01/91, URBROJ: 251-70-12-23-1 od 27.06.2023. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

### UZROCI OŠTEĆENJA ISPLAČNIH PUMPI

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

Mentor:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje Pašić

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Luka Perković

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje  
Pašić

(titula, ime i prezime)