

# Brodске pumpe

---

Orak, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies, Rijeka / Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:570693>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-24**



**Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**  
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



**uniri** DIGITALNA  
KNJIŽNICA



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**POMORSKI FAKULTET U RIJECI**

**LUKA ORAK**

**BRODSKE PUMPE**  
**ZAVRŠNI RAD**

Rijeka,2020.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**POMORSKI FAKULTET U RIJECI**

**BRODSKE PUMPE**  
**MARINE PUMPS**

**ZAVRŠNI RAD**

Kolegij: Brodski pomoćni strojevi i uređaji

Mentor: Dr.Sc. Dragan Martinović

Student: Luka Orak

Studijski smjer: Brodostrojarstvo

JMBAG: 0112068658

Student/studentica:

Studijski program:

JMBAG:

### IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom

\_\_\_\_\_

*(naslov završnog rada)*

izradio/la samostalno pod mentorstvom

\_\_\_\_\_

*(prof. dr. sc./izv. prof. dr. sc./docdr. sc Ime i Prezime)*

te komentorstvom \_\_\_\_\_

stručnjaka/stručnjakinje iz tvrtke \_\_\_\_\_

*(naziv tvrtke).*

U radu sam primijenio/la metodologiju izrade stručnog/znanstvenog rada i koristio/la literaturu koja je navedena na kraju završnog rada. Tuđespoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo/la u završnom radu na uobičajen, standardan način citirao/la sam i povezao/la s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Suglasan/na sam s trajnom pohranom završnog rada u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci te Nacionalnom repozitoriju Nacionalne i sveučilišne knjižnice.

Za navedeni rad dozvoljavam sljedeće pravo i razinu pristupa mrežnog objavljivanja:

*(zaokružiti jedan ponuđeni odgovor)*

- a) rad u otvorenom pristupu
- b) pristup svim korisnicima sustava znanosti i visokog obrazovanja RH
- c) pristup korisnicima matične ustanove
- d) rad nije dostupan

Student/studentica

\_\_\_\_\_

*(potpis)*

## SAŽETAK

U ovome radu opisan je rad, konfiguracija i primjena brodskih pumpi, počevši od njihovog začeća pa sve do najsuvremenijih pumpi koje se i danas koriste u brodskim i vanbrodskim postrojenjima. Također, prikazana je problematika pumpi prilikom nastanka kavitacije i opisana sama pojava kavitacije kao i glavni parametri bilo koje vrste pumpe.

Nadalje, od svih vrsti pumpi odabrane su klipne i stapne pumpe, i zupčasta pumpa te su detaljnije opisane uz odgovarajuće dijagrame gdje su priložene sve karakteristike navedenih pumpi uključujući snagu, dobavu, volumensku iskoristivost, mehaničku iskoristivost i sl.

Karakteristične veličine pumpe su također prikazane i računskim putem gdje su svi parametri objašnjeni te su navedeni gubitci i problematika navedenih pumpi. Stapna i klipna pumpa je na kraju rada uspoređena sa zupčastom pumpom, te je dan konstruktivni zaključak sa navedenim prednostima i nedostacima pojedinih pumpi i razlike u primjeni i radu.

Ključne riječi: Klipna pumpa, radni tlak, učin pumpe, zupčasta pumpa

## SUMMARY

In this final work the running principle, configuration and use of marine pumps are described starting from their beginning of exploitation until today, including the modern pumps. Also, main working issues are stated and described such as cavitation.

Further more, out of all pumps, piston pumps and gear pumps are described more thoroughly with corresponding diagrams where all pump characteristics are stated and described such as power, volumetric efficiency, mechanical efficiency etc.

Pump characteristics are also shown via equations where all parameters are explained including the losses of pumps. In the end, piston pumps are compared to gear pumps describing their advantages and disadvantages in their everyday use.

Keywords: gear pump, efficiency, piston pump, pressure

## SADRŽAJ

SAŽETAK.....	I
SUMMARY .....	I
SADRŽAJ .....	II
1. UVOD .....	1
2. POVIJESNI RAZVOJ PUMPI.....	2
2.1. ARHIMEDOV VIJAK .....	3
2.2. LANČANA I KONOP PUMPA.....	4
3. SUVREMENE BRODSKE PUMPE .....	6
3.1. PROTOK I TLAK .....	7
3.2. KAVITACIJA .....	8
4. VRSTE SUVREMENIHBRODSKIH PUMPI .....	9
4.1. ZUPČASTA PUMPA.....	10
4.1.1. Princip rada i podjela zupčastih pumpi.....	11
4.1.2. Karakteristike zupčaste pumpe .....	13
4.1.3. Karakteristične veličine zupčaste pumpe.....	14
4.2.KLIPNE I STAPNE PUMPE .....	19
4.2.1. Princip rada klipnih i stapnih pumpi.....	19
4.2.2. Podjela klipnih i stapnih pumpi .....	22
4.2.3. Karakteristike klipnih i stapnih pumpi.....	24
5. KVAROVI I PROBLEMATIKA KLIPNIH I ZUPČASTIH PUMPI .....	31
5.1. POTENCIJALNI KVAROVI KLIPNIH PUMPI.....	33
5.2. POTENCIJALNI KVAROVI ZUPČASTIH PUMPI.....	38
6. USPOREDBA UČINA KLIPNIH I ZUPČASTIH PUMPI.....	43
7. ZAKLJUČAK .....	48
LITERATURA.....	49

# 1. UVOD

Brodске pumpe i njihovo načelo rada spada u skupinu hidraulike i mehanike. To je uređaj koji se najčešće pojavljuje u svim brodskim sustavima. Pumpa je uređaj koji se koristi za prebacivanje tekućine ili muljevite tvari. Ona pomiče tekućine iz područja nižeg tlaka u područje višeg tlaka, a razliku između tlakova prevladava dodajući energiju sistemu.

Hidraulika se može podijeliti na hidrodinamiku i hidrostatičku. U hidrodinamici se energija prenosi kinetičkom energijom fluida u strujanju, dok se u hidrostatici energija prenosi prvenstveno tlakom fluida. Stoga hidrodinamičke sustave karakterizira razmjerno niski tlak i visoka brzina strujanja, dok hidrostatske sustave određuju razmjerno visoki tlakovi i niže brzine strujanja fluida. Pumpa je osnovni element sustava kaljuže i balasta, a bez pumpi je isto tako nezamjenjiva uporaba sustava poriva, klima uređaja, uređaja za kormilarenje, manipulaciju tereta i mnogih drugih sustava.

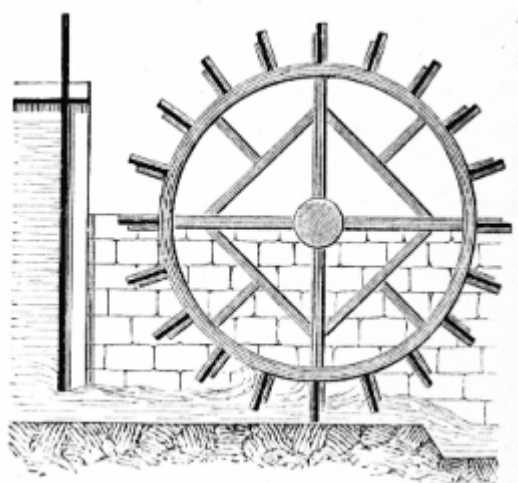
Brodске pumpe su iznimno širok pojam po pitanju vrste, izvedbe i podjele. Unatoč tome se mogu podijeliti prema namjeni, visini dizanja, količini dobavljene tekućine te konstrukciji pumpe no također se mogu podijeliti i po položaju pogonske osovine (vodoravno ili okomito), prema vrsti pogona (električni pogon, turbinski pogon, privješene pumpe), prema sili stvorenoj tlakom (niski tlak, srednji tlak, visoki tlak) i slično. Kako je na brodu namjena pumpe relativno najbitniji faktor, time imamo različite vrste pumpi za određene skupine djelovanja na brodu kao npr. stapne i klipne pumpe s linearno pokrenutim dijelovima se upotrebljavaju za male dobavne količine, niske brzine i velike dobavne visine. Zupčaste i vijčane pumpe za podmazivanje i dobavu goriva i ulja dok se centrifugalne pumpe obično koriste u sustavima balasta, rashladnim sustavima i slično. Konstrukcijski gledano pumpe i općenito hidraulički uređaji su iznimno dobro izvedeni uz praktički nikakvu vrstu modernotehnološke zamjene za njihov rad, te uz to imaju mali broj negativnih nuspojava. Stoga brodske pumpe i njihove značajke su od ključnog utjecaja za pravilan rad ne samo brodskih sustava, nego bilo kojih drugih tehničkih i tehnoloških sustava u svijetu.

Glavna problematika hidrauličnih brodskih i ostalih pumpi je kavitacija uslijed rada pumpe koja može razorno djelovati na njene djelove, te uz to ostvariti velike gubitke energije. Kavitacija je pojava pri kojoj dolazi do formiranja parnih mjehurića u hidrauličnom dijelu pumpe. Ona ovisi o tlaku i temperaturi tj. određenim termodinamičkim uvjetima. Ako u

određenim uvjetima strujanja vode tlak padne na tlak isparavanja dolazi do lokalnog isparavanja, tj. do stvaranja mjehurića pare. Struja vode odnosi mjehuriće pare, koji kada dospiju do područja većeg tlaka uz prasak naglo kolabiraju. Time dolazi i do nagle promjene gustoće koje pak izazivaju naglu promjenu tlaka. Unatoč tome, s vremenom dolazi do razaranja i najčvršće podloge. Kavitaciju je moguće smanjiti i izbjeći. Opširnije o vrstama pumpi koje se koriste na današnjim brodovima, o njihovom radu i problematikom s kojom se susreću nalazi se u nastavku.

## 2. POVIJESNI RAZVOJ PUMPI

Nova tehnološka otkrića su bila veoma bitna za izgradnju novih civilizacija diljem svijeta. Među prvim civilizacijama koje su koristile u to vrijeme nova otkrića su bili Egipćani, Grci, prvi stanovnici Mezopotamije i mnoga drevna Kineska kultura. Prve naprave za dobavu vode s niže na višu razinu, koje su ujedno preteče današnjih pumpi su kola s lopaticama koja su se u starom Egiptu koristila za navodnjavanje.



Slika 2.1 - Kolo s lopaticama

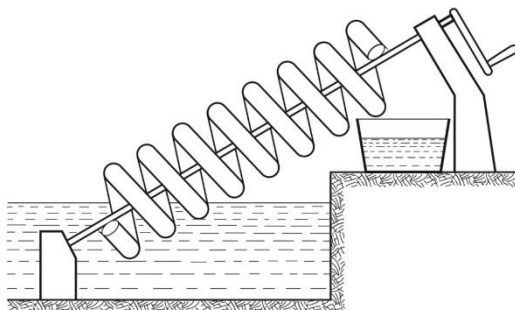


## 2.1. ARHIMEDOV VIJAK

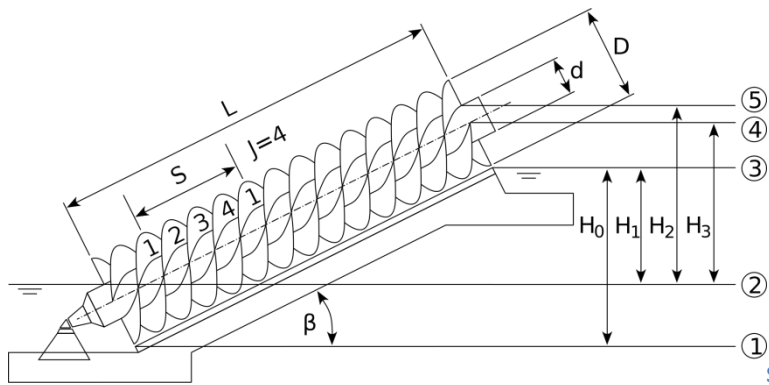
Najraniji tip pumpe bilo je djelo grčkog fizičara Arhimeda davne 200.godine pr.Kr. pod nazivom "Arhimedov vijak". To je "pumpa" ili crpka za vodu u obliku cijevi svinuta poput zavoja vijka. Pri njegovom okretanju voda se u toj cijevi diže od njezina donjeg kraja prema gornjemu i curi kroz otvor najgornjeg zavoja. Tijekom povijesti Arhimedov vijak je bio ključan izum pri navodnjavanju polja i vrtova, no također se upotrebljavao za ispumpavanje određene količine vode, kišnice, muljevite vode te se tom svrhom povezuje sa današnjim pumpama koje se koriste u slučaju nužde i sigurnosti.

Stroj je jednostavne konstrukcije, sastoji se od vijka smještenog unutar cijevi. Vijak se okreće snagom vjetrenjače, čovjeka, stoke i sl. Okretanjem vijka, tekućina se giba po obodu vijka prema gore, sve dok ne dođe do vrha, gdje se izlijeva iz cijevi prema krajnjem odredištu. Daljnje usavršavanje ovog izuma se postizalo tako da između vijka i cijevi bude što manja zračnost, kako bi se smanjila moguća propuštanja iz višeg u niži nivo. Gubitci se također smanjuju ako je veća brzina okretanja vijka.

Postoje dvije vrste izvedbe Arhimedovog vijka. Kod prve izvedbe se vijak okreće unutar cijevi koja je statična, a kod druge se vijak i cilindar okreću zajedno te ne postoji relativno gibanje između vijka i cijevi. Arhimedov vijak se i danas koristi u kanalizacijskim sustavima jer je vijak skoro neosjetljiv na krute nečistoće.



Slika 1.2 - Arhimedov vijak



Slika 2.3 - Dimenzije Arhimedovog vijka

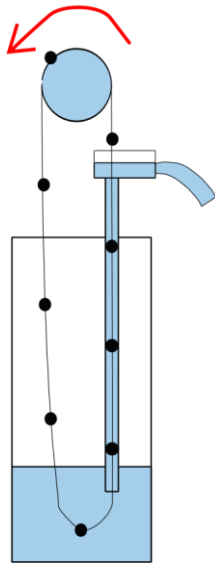
- $\beta$  = kut nagiba uređaja
- $H_0$  = najveća moguća visina dizanja
- $H_1$  = najmanja visina dobave
- $H_2$  = najveća visina dobave
- $H_3$  = srednja visina dobave
- $J$  = broj neovisnih navoja
- $L$  = duljina navoja
- $S$  = uspon vijka

## 2.2. LANČANA I KONOP PUMPA

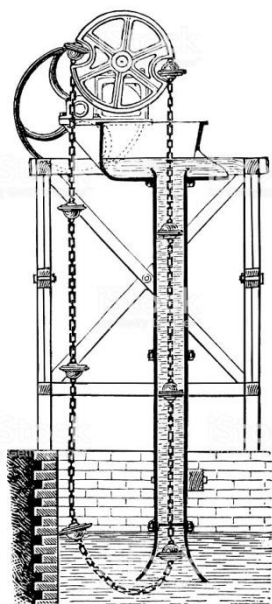
Također još jedna zanimljiva izvedba i preteča funkcionalnosti današnjih pumpi je dakako tzv. "konop pumpa" koja se koristila tisućama godina na području Kine. To je vrsta pumpe koja je naravno imala ručni pogon. Glavne komponente ove pumpe su mjesto sa tekućinom koja se želi ispumpati na drugi nivo za daljnu upotrebu, dugačka cilindrična cijev i dugačak konop sa razmjerno postavljenim čvorovima na određenim simetričnim udaljenostima konopa koji su promjera jednakog kao i promjer cilindrične cijevi. Ti čvorovi su daljnim tehnološkim razvojem zamijenjeni prvo sa drvenim umetcima i na kraju sa metalnim pločama nalik diskovima.

Princip rada je vrlo jednostavan, konop se preko koloturnika konstantno povlači i prolazeći kroz cilindričnu cijev, čvorovi ili ploče zarobe tekućinu koja se misli ispumpavati i povlače ju prema gore do završetka cijevi. Pogon ove pumpe je ručni, a gubitci se smanjuju a iskoristivost povećava smanjenjem zračnosti između čvora ili ploče i unutarnjeg dijela cilindrične cijevi i naravno povećanjem brzine povlačenja konopa.

S godinama ova vrsta pumpe je zamjenila konop za lanac i koloturnike za zupčanike i time dobila na dugovječnosti i naziv " lančana pumpa", no u principu rad ove pumpe ostaje isti. Izumov lančane pumpe smatra se kao prvi doticaj ljudske populacije sa elementom i radom zupčanika. Ovakve pumpe su se prve počele koristiti na prvim plovim sredstvima u korist ispumpavanja vode ili mora u slučaju naplavljanja. Karakterizirale su ih laka uporaba, dobra iskoristivost i dobra prijenosnost zbog male mase i malo komponenata.



Slika 2.4 - Konop pumpa



Slika 2.5 - Lančana pumpa

### 3. SUVREMENE BRODSKE PUMPE

S godinama usavršavanja pumpi zapostavljaju se ručne pumpe i počinju se proizvoditi pumpe sa pogonom gdje nije potrebna sila čovjeka, te se takve pumpe i dan danas koriste. To su pogoni na električnu energiju, motori s unutarnjim izgaranjem, parni pogoni, privješene pumpe i slično.



Slika 3.1 - Suvremena centrifugalna pumpa

Najčešći način pogona svih današnjih suvremenih pumpi je pomoću elektromotora. To su uređaji koji pretvaraju električnu energiju u mehanički rad i idealni su za pogon pumpi, pogotovo dinamičkih pumpi tj. onih koje svoj rad zasnivaju rotacijom ( kao što su to npr. centrifugalne pumpe, zupčaste, vijčane i sl. ) zbog jednostavnog prijenosa sile sa osovine elektromotora ( rotora) do pumpe.



Slika 3.2 - Privješena pumpa pogonjena remenom

### 3.1. PROTOK I TLAK

Glavna dva parametra koja karakteriziraju i razlikuju rad pojedinih pumpi su protok i tlak pumpe (radni). Protok je parametar koji opisuje količinu fluida koji protječe određenim presjekom u vremenskom intervalu. Mjerenje protoka tekućina jednostavnije je od mjerenja protoka plinova jer su tekućine nestlačive.

Za pumpe je također važan volumni protok jer se time zapravo mjeri obujam (volumen) fluida koji prolazi neku točku, te je takav protok zapravo jedino mjerodavan. Mjerenjem protoka određuju se energetske i materijalne bilance na osnovu kojih se određuje produktivnost procesa proizvodnje.

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$Q$  - volumni protok [ m<sup>3</sup>/s]

$\Delta V$  - promjena obujma fluida [ m<sup>3</sup>]

$\Delta t$  - vrijeme trajanja toka fluida koji teče nekim presjekom [s]

Teoretski, protok kroz volumensku pumpu jednak je umnošku broja okretaja pumpe  $n$  i radnog volumena pumpe  $V$ , pa prema tome ne ovisi od radnog tlaka pumpe.

$$Q = \eta_v \cdot n \cdot V$$

Pri čemu je  $\eta_v$  volumetrički stupanj djelovanja pumpe. Volumenski gubici rastu linearno s povećanjem prirasta tlaka  $\Delta p$  u pumpi. Prema toma prirast tlaka opada s povećanjem protoka. Radna karakteristika volumenskih pumpi vrlo je strma, pa su posebno opasne situacije u kojima je hidraulički otpor na pumpe prevelik ( npr. zatvoren tlačni ventil praktički predstavlja beskonačni otpor). U tim situacijama pumpa tipično povećava razinu tlaka do izuzetno velikih vrijednosti, sve dok jedan od elemenata ne popusti tj. pukne. Zato se takve pumpe obavezno štite prekotlačnim ventilom. Prekotlačni ventil osigurava da tlak u

sustavu ne prijeđe maksimalno dopuštenu vrijednost. Zbog relativno visokih tlakova, kod pumpi, nebitno bile one brodske ili ne, parametar od najvećeg interesa je maksimalni radni tlak pumpe.

### 3.2. KAVITACIJA

Kavitacija je nastajanje mjehurića ispunjenim parama unutar nekog fluida prilikom njegovog strujanja kroz pumpu te pojava nepoželjnih udarnih tlakova. Ako u nekoj točki unutar pumpe apsolutni tlak fluida postane niži od tlaka zasićenja pare tog fluida, u njoj započinje isparavanje i stvaranje mjehurića pare. Kada ti mjehurići koji su nošeni fluidom dopiju u područje apsolutnog tlaka višeg od tlaka zasićenja para kondenziraju, uslijed čega nastaje hidraulički udar, pri kojem tlak znatno poraste te djeluje razorno po pumpu.



Slika 3.3 - Razorni utjecaj kavitacije

Izravna posljedica kavitacije je razaranje materijala stijenke pumpe, tzv. kavitacijska erozija. Kavitacija je praćena karakterističnom bukom i vibracijama, a rad pumpe postaje nejednolik i nemiran, smanjuje se visina dobave, protok i učinkovitost. Kavitaciji doprinose brzina vrha rotora pumpe, ulazna brzina fluida i gubitci usisnog voda. Ako su uvjeti na usisu pumpe takvi da ni u jednoj točki unutar crpke tlak neće biti niži od tlaka zasićenja pare tog fluida, kavitacije neće ni biti.

Minimalni uvjeti na usisu svake pumpe nužni za spriječavanje nastanka kavitacije poznati su pod nazivom NPSH ( eng. "*net positive suction head*" )

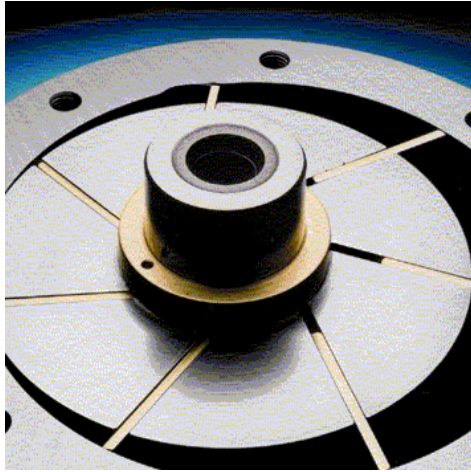
Postoje dvije osnovne vrste kavitacije koje se javljaju pri radu pumpe, a obje su rezultat iste pojave.

Usisna ili klasična kavitacija najčešća je kod rotacionih pumpi, te se javlja na impeleru pumpe prilikom usisa i potiskivanju fluida prema tlačnom ventilu, dok potisna ili recirkulaciona kavitacija nastaje kod promjene tlaka prilikom izlaska fluida iz pumpe, na potisnom (tlačnom) ventilu. Ventil tehnički ne može svu tekućinu propustiti u jednom trenutku, tako da različite brzine kretanja fluida izazivaju minijaturne promjene u tlaku tekućine. Čak i tako male promjene tlaka su dovoljne za pojavu kavitacije. Kavitacija se ne smije zamijeniti sa aeracijom, što je pojava mjehurića zraka.

#### **4. VRSTE SUVREMENIH BRODSKIH PUMPI**

U današnje vrijeme na tržištu i u uporabi su svakakve vrste pumpi, različitih dimenzija, dizajna, načina rada, položaja u odnosu na medij koji prebacuju, materijala i slično. No, u pravilu sve te različite vrste pumpi se razlikuju jedna od druge upravo po jednoj bitnoj stavci, a to je način na koji prenose energiju do medija kojeg pumpaju, te se zato sve brodske pumpe mogu u grubo podijeliti na dvije glavne skupine. Prve su tzv. "kinetičke" gdje se koristi centrifugalna sila nekog rotacijskog elementa. Taj rotacijski element je uglavnom u ovom slučaju impeler koji svojim lopaticama predaje kinetičku energiju mediju, tj. fluidu, pomicajući ga sa usisne na tlačnu stranu. Ovakva vrsta pumpe je jedna od najrasprostranjenih pumpi današnjice zbog svoje pouzdanosti, kontinuiranog protoka i relativno jednostavne i male izvedbe.

Druge vrste pumpe imaju puno podvrsta, no u globalu svaka energiju prenosi na fluid pomoću naizmjenične radnje bilo to klipova, stapova ili pak zupčanika, vijaka i drugih pomičnih dijelova koji zapravo istiskuju fluid sa jedne strane na drugu, tj. sa usisne na tlačnu stranu. Takve pumpe zapravo "zarobe" fluid i fizički ga prenose u kućištu pumpe do tlačne strane.



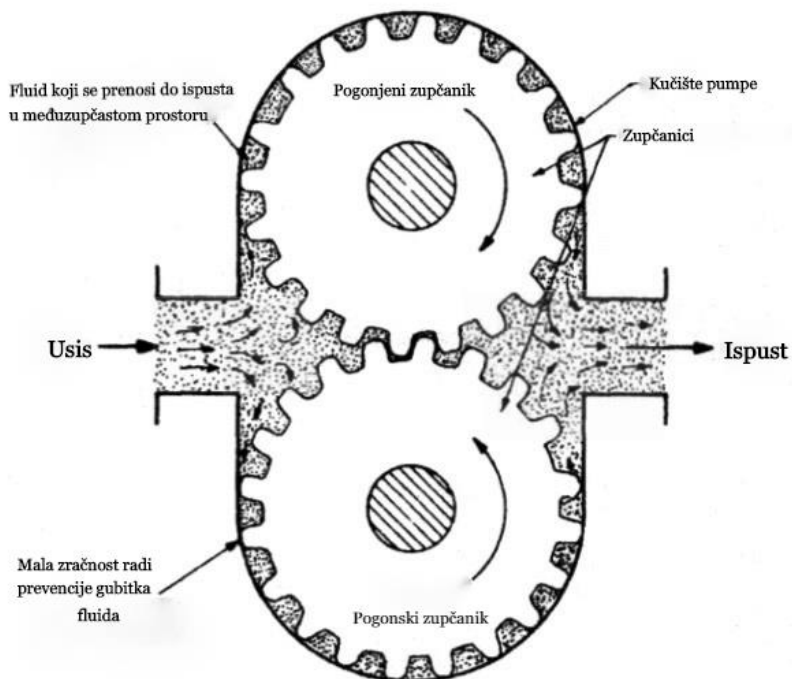
Slika 4.1 - Lopatasta pumpa

#### 4.1. ZUPČASTA PUMPA

Zupčasta pumpa je zbog svojih dobrih karakteristika kao što su niska cijena proizvodnje, kompaktnost, visoka pouzdanost i ne zavidne performanse jedna od češće korištenih pumpi današnjice koja dobro podnosi i visoke i niske tlakove fluida većih i manjih viskoznosti.

Fluid prebacuje tako što ga zatvori između zuba zupčanika i kućišta pumpe i prebacuje ga uz pomoć pogonskog zupčanika koji je najčešće pogonjen elektromotorom sa usisne na tlačnu stranu pumpe. Zupčanici se okreću ovisno jedan o drugome a zračnost između kućišta pumpe i zuba zupčanika je tek tolika da se zupčanici mogu nesmetano okretati unutar pumpe i da je nemoguće propuštanje fluida koji je "zarobljen" između zupčanika i kućišta.





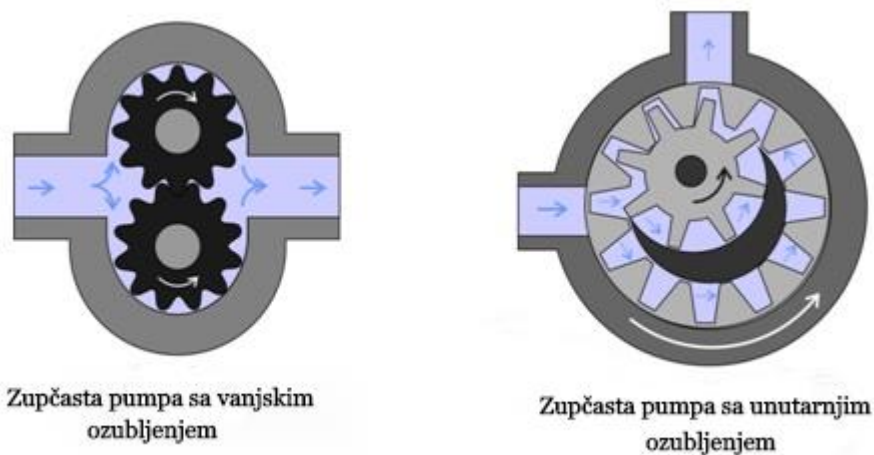
Primjer zupčaste pumpe

Slika 4.2 - Zupčasta pumpa i njeni konstrukcijski dijelovi

#### 4.1.1. Princip rada i podjela zupčastih pumpi

Ako pogonski zupčanik okreće u jednom smjeru, zupčanik koji je s njim u paru okreće u obrenutom smjeru. Kod takve pumpe postoji i usisna i tlačna strana, prilikom okretanja, zupčanik zarobljava tekućinu između zupčanika i kućišta pumpe i time na usisnoj strani stvara podtlak uslijed oduzimanja tekućine, dok na suprotnoj strani ( tlačnoj) dolazi do stvaranja višeg tlaka.

Postoje dvije glavne vrste zupčaste pumpe. Pumpa sa vanjskim ozubljenjem ( eksternalna ) i pumpa sa unutarnjim ozubljenjem ( internalna). Obje rade na istom principu, osim što kod pumpe sa unutarnjim ozubljenjem zupčanici su različitih dimenzija te se samo jedan okreće, i to unutar većega.

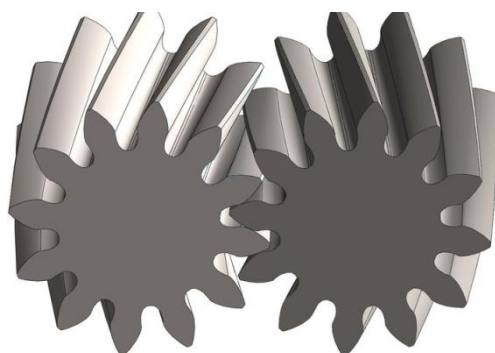


Slika 4.3 - Dvije različite vrste zupčaste pumpe

Također, postoje i razne varijacije izvedbi zupčanika zupčaste pumpe. Oni se razlikuju i mijenjaju sukladno sa načinom uporabe, snagom pumpe i fluida kojeg prenosi.

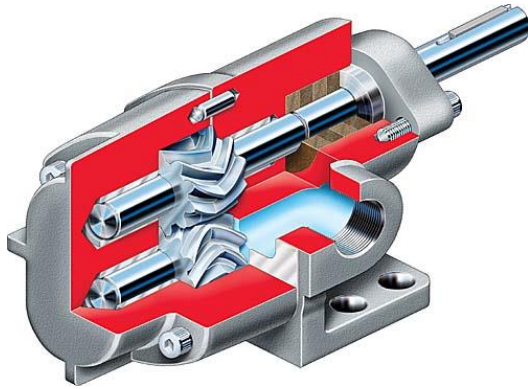
Najčešća izvedba je sa ravnim tj. okomitim zubima. Zračnost između dva susjedna zupčanika je svega nekoliko tisućina centimetara. Kod svih jednostavnijih zupčastih pumpi koriste se okomiti zubi zbog ekonomičnosti pri proizvodnji, no snaga kod prijenosa sa pogonskog zupčanika na susjedni je samo preko jednog zuba, što i nije najidealnije rješenje.

Pumpa sa kosim zubima je varijacija nastala od pumpe sa ravnim zubima. Princip rada je isti, no jedina bitna razlika je u prijenosu sile između dva zupčanika, jer pošto su zubi pod određenim kutem, ima veću površinu kojom dva susjedna zupčanika prenašaju silu, što je daleko pouzdanije.



Slika 4.4 - Primjer kosih zupčanika kod zupčaste pumpe

Najkompleksnija varijacija ovakvih pumpi je sa zupčanicima uzorkom riblje kosti (eng. " *Herringbone pattern* "). Princip rada je također isti, no razlika je ta što svaki set zubi ovakve pumpe kreće sa fazom ispuštanja fluida prije nego što je prethodni set zuba dovršio ispust fluida iz svoje komore. Na taj način potiču se minimalne vibracije i pulsiranja unutar pumpe i naravno, jednoličniji protok pumpe.



Slika 4.5 - Zupčasta pumpa sa zupčanicima nalik riblje kosti

#### 4.1.2. Karakteristike zupčaste pumpe

Zupčaste pumpe su nadasve jednostavne i kompaktne sa vrlo malim brojem pomičnih dijelova no unatoč tome imaju odlične karakteristike. Zupčaste pumpe manjih dimenzija rade na otprilike 1700-3500 okretaja po minuti a veće na oko 600-700.

Od navedene dvije varijacije, pumpa sa vanjskim ozubljenjem je sposobna postizanju puno većeg radnog tlaka i protoka od pumpe sa unutarnjim ozubljenjem koji iznosi oko 200 bar upravo zbog manjih tolerancija između zuba zupčanika i kućišta, dok pumpe sa unutarnjim ozubljenjem postižu veći podtlak na usisu pumpe, što rezultira većom usisnom silom i naravno kao fluid se može koristiti puno viskozija tekućina nego kod pumpi sa unutarnjim ozubljenjem.

Učin zupčaste pumpe je direktno proporcionalan rotacijskoj brzini zupčanika.

Ove pumpe mogu biti rađene i za posebne vrste tekućina kao što su sumporna kiselina i slične korozivne tvari, no onda se kućište od lijevanog željeza i zupčanici od nehrđajućeg čelika moraju zamijeniti sa novim metalima i legurama koji podnose kiseline i lužine.

Zupčaste pumpe su samousisne no od njih se zahtjeva da barem na pola budu ispunjene fluidom prije nego što se pumpa pokrene tako da se postignu maksimalne karakteristike pumpe. Neke zupčaste pumpe su napravljene tako da ne postoji razlika između usisne i tlačne strane, pa se takve pumpe mogu koristiti za pretakanje fluida iz broda i na brod, što je vrlo praktično.

Ove pumpe su vrlo dugovječne upravo zbog toga što nema puno dijelova koji se pokreću, pa sukladno tome s godinama korištenja troše se isključivo vrhovi zuba zupčanika i dijelovi kućišta pumpe. Zanimljivost je ta da se životni vijek određenih zupčastih pumpi može produžiti bez novih dijelova ili modifikacija. Ako se kućište zupčaste pumpe okrene, usisna i tlačna strana te pumpe su zamijenjeni, i potrošeni dio kućišta će biti okrenut tlačnoj strani, a nepotrošeni usisnoj strani te se time smanjuje klizanje ( eng. " *Slip* " ) i protok ponovno teži maksimalnoj vrijednosti.



Slika 4.6 - Prikaz klasičnog hidrauličnog gubitka kod zupčaste pumpe

#### 4.1.3. Karakteristične veličine zupčaste pumpe

Pri izračunu kapaciteta tj. volumena određene zupčaste pumpe potreban je podatak širine zupčanika, promjer zupčanika i udaljenost između dva susjedna zupčanika koja su u paru, mjereći od sredine osovine zupčanika.

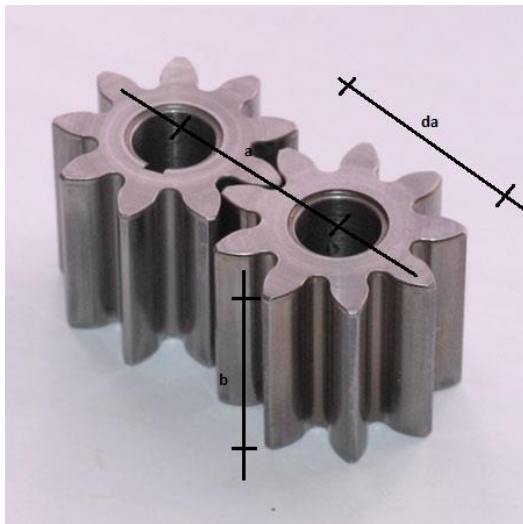
$$Q = \frac{\pi}{2} \cdot b \cdot (da^2 - a^2)$$

Q- volumen pumpe [ ccm<sup>3</sup>/rev ]

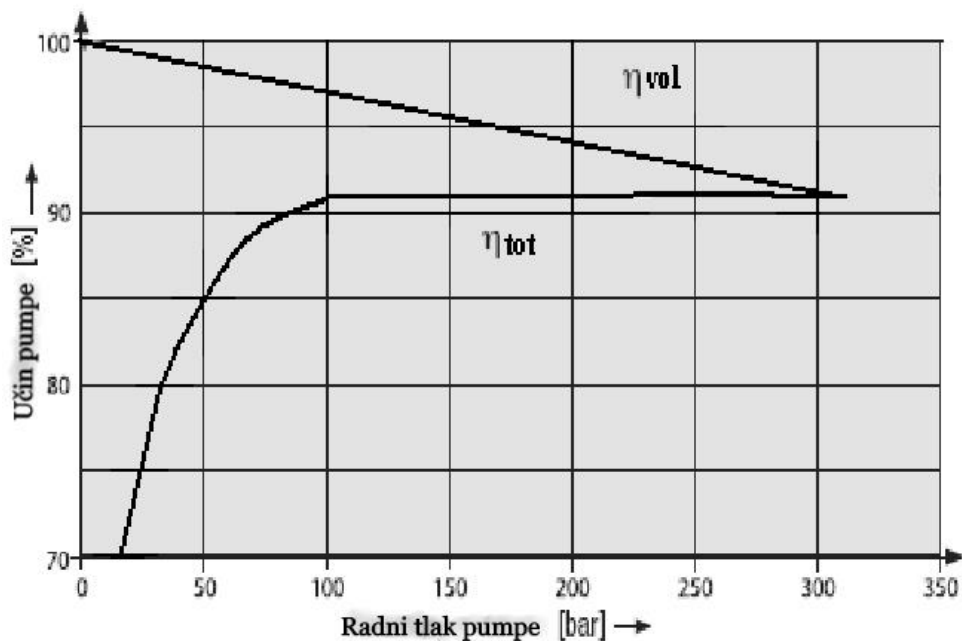
b- širina zupčanika [ cm ]

da- promjer zupčanika [ cm ]

a- udaljenost dva zupčanika [ cm ]



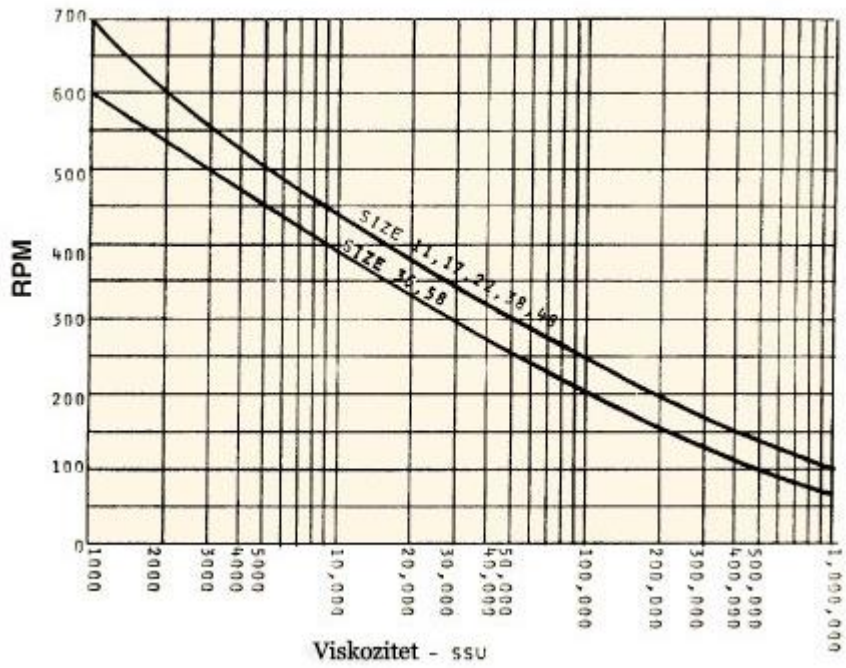
Slika 4.7 - Karakteristične veličine zupčanika zupčaste pumpe koje se koriste prilikom izračuna volumena pumpe



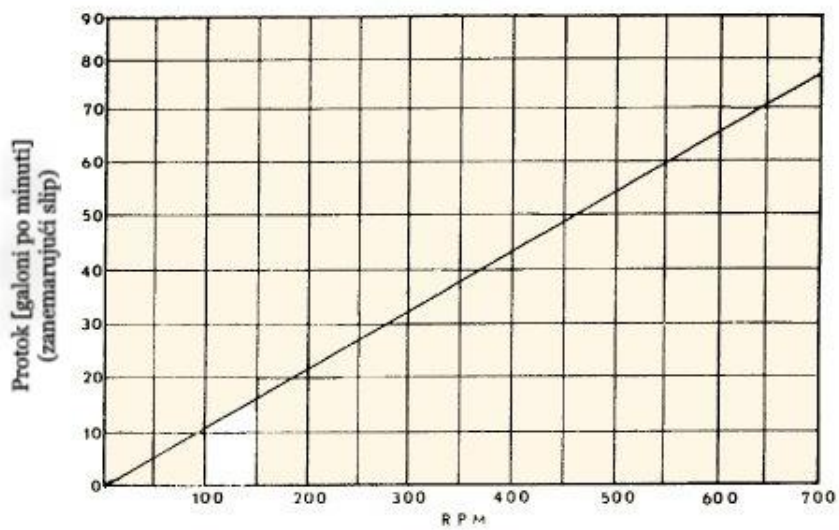
Dijagram 4.1 - Dijagram koji pokazuje utjecaj radnog tlaka na volumenski i cjeloukupni učin zupčaste pumpe

Prilikom rada na manjoj brzini vrtnje sukladno tome postiže se manji radni tlak, te zbog toga nastaju propuštanja i učin pumpe nije potpun. Usprkos tome, ako je radni tlak prevelik, volumetrijski učin pumpe će se postupno smanjivati. Upravo zbog toga, pumpe se unutarnjim ozubljenjem su proračunate i testirane na optimalni radni tlak od strane proizvođača koji u ovom slučaju kod ovakvog tipa pumpe iznosi oko 100 bar.

Većina zupčastih pumpi dobro podnosi viskoznije tekućine, pa sukladno tome, viskozitet igra veliku ulogu. Prilikom manje viskoznije tekućine, okretaji pumpe mogu biti veći nego kod gušćeg fluida gdje se okretaji moraju malo smanjiti kako bi viskozniji fluid uspio ući u međuzupčasti prostor u potpunosti.

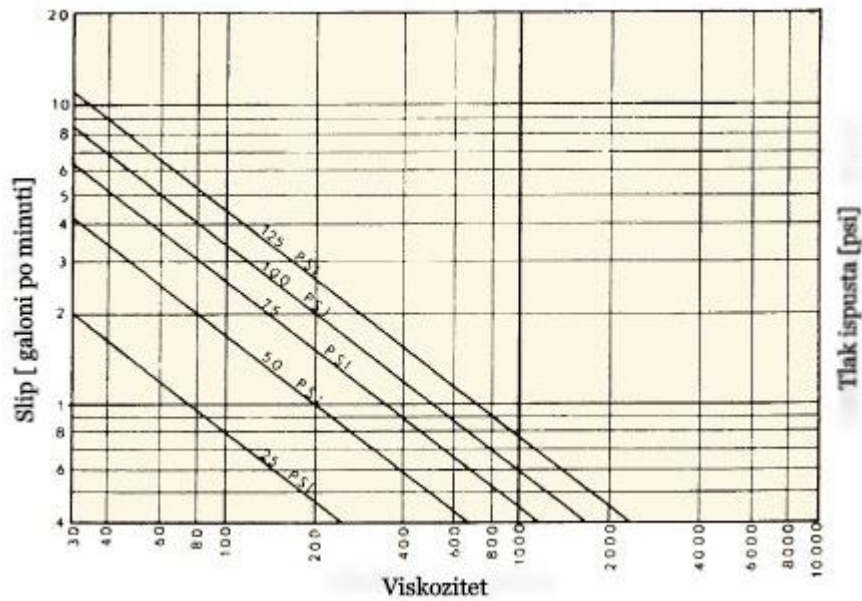


Dijagram 4.2 - Dijagram koji prikazuje utjecaj viskoziteta radnog fluida na okretaje zupčaste pumpe



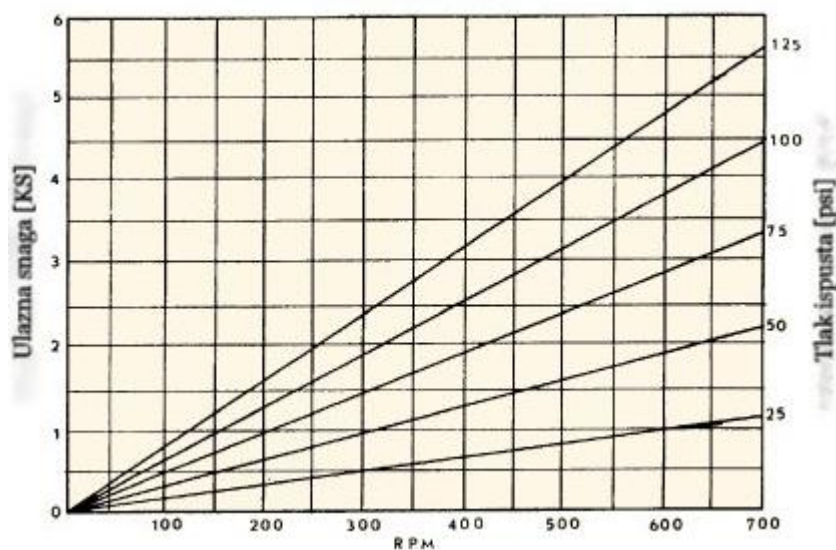
Dijagram 4.3 - Dijagram koji prikazuje proporcionalno povećanje protoka zupčaste pumpe povećanjem brzine vrtnje





Dijagram 4.4 - Utjecaj povećanja viskoziteta i radnog tlaka na propuštanje zupčaste pumpe

Kako zupčaste pumpe imaju malu zračnost između zuba zupčanika prilikom većeg radnog tlaka povećavaju se propuštanja (eng. "Slip") i samim time se gubi na dobavnoj količini koja smanjuje i učin pumpe. Prema dijagramu, što je fluid gušći, tj. što je veća viskoznost, time su i propuštanja manja.



Dijagram 4.5 - Ulazna snaga zupčaste pumpe proporcionalna sa tlakom ispusta



## 4.2.KLIPNE I STAPNE PUMPE

Klipne pumpe su konstrukcijski čvrsti ali i jednostavni uređaji. Sastoje se od nekoliko (ili jednog) cilindra, klipova i ventila. Njihov način rada je baziran i sličan radu dvotaktnog motora s unutarnjim izgaranjem. Naizgled vrlo jednostavan uređaj, no usprkos tome raspolaže sa prilično velikim pritiscima koji fluid istiskuje svakim okretajem pumpe, te je zbog toga dobava ovakvih pumpi prilično nejednolika.

Unatoč tome, današnje praktične klipne i stapne pumpe raspolažu sa većim brojem cilindra i klipova, te se time ujednačava dobava pumpe. Protok stapnih i klipnih pumpi se može izračunati pomoću formule:

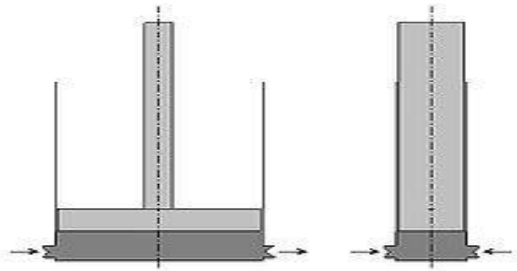
$$Q = (\text{broj klipova}) \cdot (\text{promjer klipa}) \cdot (\text{hod klipa}) \cdot (\text{broj okretaja pumpe})$$

Klipne i stapne pumpe su pumpe sa visokim stupnjem efikasnosti, mogu pumpati različite vrste tekućina, no to uvelike ovisi o dizajnu i konstrukciji usisnih i tlačnih ventila. Uz to, ove pumpe su samousisne, upravo zbog postizanja različitih tlakova tijekom rada pumpe. No naravno, klipne i stapne pumpe nisu česte u uporabi zbog cijene izrade koja je znatno viša nego npr. kod centrifugalne pumpe, no usprkos tome, može ih se naći u brodskim postrojenjima kao sludge ili bilge pumpe. Izvedbi ima puno i svaka ima malo drugačiji način rada, no u suštini su iste. Neke od izvedbi su Lift pumpa, Force pumpa, aksijalna, radijalna pumpa, suplex, duplex, triplex i mnoge druge.

### 4.2.1. Princip rada klipnih i stapnih pumpi

Princip rada klipnih i stapnih pumpi zasniva se na uzastopnim linearnim pokretima stapa ili klipa, no prije svega bitno je poznavati razliku između ta dva ključna elementa.

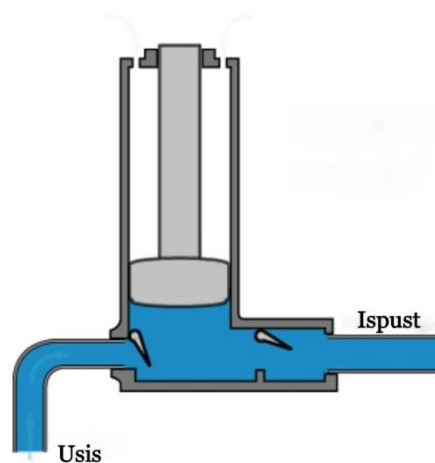
Jednostavne stapne pumpe naizgled najviše sličie principu rada motora sa unutarnjim izgaranjem, te samim time dijele ključne elemente kao što su cilindar ( ili više njih), stap, razvodni ventili, ojnica, križna glava i pripadajući ležaji. Stap kod brodskih pumpi izgleda isto kao i stap kod brodskih motora, cilindričnog je oblika i najvažnija stvar- ima svoje stapne prstenove koji zapravo služe kao nepropusne brtve prilikom pomicanja stapa uzduž cilindra.



Slika 4.8 - Konstrukcijska razlika između stapne (lijevo) i klipne (desno) pumpe

Dok kod klipa, on je dužeg oblika, nema ojnicu te ono najbitnije što zapravo razlikuje jedno od drugoga, on ima fiksnu nepropusnu brtvu koja se nalazi s unutarnje strane cilindra, te klip klizi po njoj pošto je ona nepomična. Time klipne pumpe mogu postići nešto veće radne tlakove u usporedbi sa stapnim pumpama.

Kod klipnih i stapnih pumpe se može reći da one imaju dva takta. Prvi takt je usis, a drugi je ispust fluida.



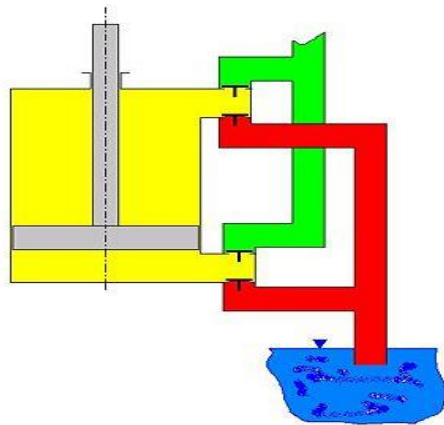
Slika 4.9 - Primjer jednostavne stapne pumpe

Kada se klip pomiče prema gore, stvara se podtlak tj. vakuum koji otvara usisni ventil i dozvoljava fluidu da uđe u cilindar, no sukladno tome se pod utjecajem podtlaka zatvara tlačni ventil te ne dopušta propuštanje fluida kroz njega. Postizanjem različitih tlakova unutar cilindra omogućuje stapnoj i klipnoj pumpi da bude samousisna. Kada klip dođe do donje mrtve točke prvi takt završava te počinje drugi- isпуст.

Klip se kreće gibati prema dole i samim time dolazi do stvaranja područja većeg tlaka koji zatvara usisni ventil te otvara tlačni ventil i ispušta fluid koji se nalazio u zapremnini cilindra. Rad ovakvih pumpi uvelike ovisi o ventilima, te njihovoj funkciji otvaranja i zatvaranja na vrijeme. Dobava tekućine je isprekidana tj. nejednolika zbog neizmjeničnog djelovanja stapa.

Kontinuiranija dobava ovakvih pumpi se postiže povećanjem broja klipova i cilindara, no također i iskorištavanjem oba dijela stapa, kao što se koristi kod dvoradnih stapnih pumpi.

One su u principu rada jednake jednoradnim pumpama, osim što upotrebljavaju obe strane za izvođenje radnog ciklusa. Shodno tome, moraju imati dodatni par ventila i sustav brtvljenja stapajice kako fluid nebi izašao van.



Slika 4.10 - Dvoradna stapna pumpa

U teoriji dvoradne stapne pumpe imaju dvostruko veću dobavu od jednoradnih, što u praksi ostvarivo isključivo ako se oduzme površina stapajice, pa je dobava manja za taj dio.

$$Q = n \cdot h \cdot \frac{\pi}{4} (2 d^2 - d_1^2 )$$

Q- dobava pumpe

n- broj ciklusa pumpe

h- stapaj pumpe

d- promjer cilindra pumpe

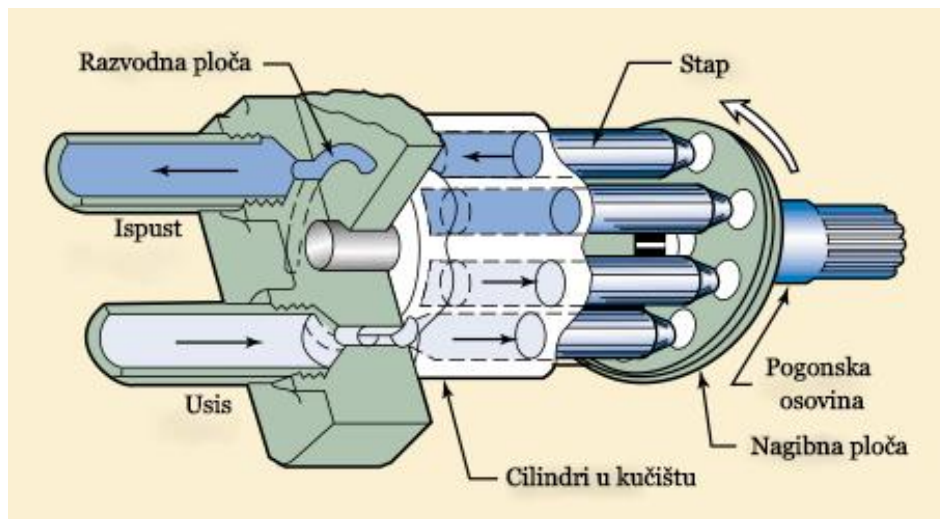
d<sub>1</sub>- promjer stapajice

#### 4.2.2. Podjela klipnih i stapnih pumpi

Postoje mnoge izvedbe klipnih i stapnih pumpi, od kojih svaka ima svoju specifičnu primjenu, počevši od jednostavnih pumpi gdje se ispust fluida iz pumpe primjenjuje prilikom spuštanja klipa prema dolje te se takve pumpe u svijetu nazivaju " *Forcedown*" klipne pumpe.

Također postoje i tzv. " Lift " pumpe, koje su u načinu rada apsolutno iste kao i ostale klipne pumpe, no jedina razlika je što se ispust fluida iz cilindra događa prilikom uzdizanja klipa a ne spuštanja. Najpoznatije su aksijalna klipna pumpa i radijalna klipna pumpa.

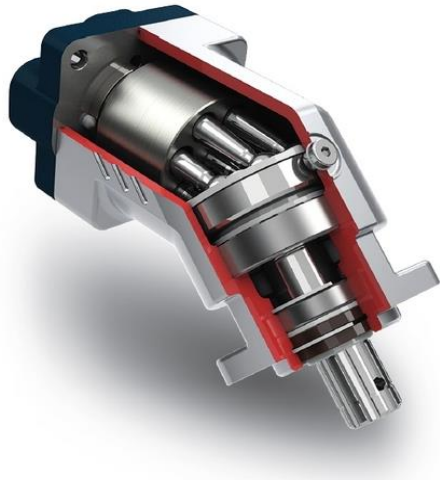
Aksijalna klipna pumpa je najčešće korištena klipna pumpa. Sastoji se od nekolicine klipova ( uglavnom neparnog broja ) kružno postavljenih u bloku sa cilindrima. Nerijetko se takav blok naziva i rotor ili barel, on je povezan na osovinu preko koje dolazi snaga i okretni moment od strane parnog stroja, motora na unutarnje izgaranje, no u današnje vrijeme u većini slučajeva to bude elektromotor. Na suprotnu stranu bloka postavljena je razvodna ploča, ona ima dva otvora, te su postavljeni tako da jedan predstavlja usisni otvor a drugi tlačni. Najbitniji dio aksijalne klipne pumpe koji zapravo omogućava pomicanje klipova uzduž cilindra jest nagibna ploča. Ona je postavljena iza klipova i ona je element koji ne rotira, suprotno cilindrima i klipovima koji rotiraju po simetrali koja je zapravo osovina pumpe.



Slika 4.11 - Suvremena aksijalna klipna pumpa

Princip rada aksijalne klipne pumpe temelji se na gibanju klipova paralelno sa simetralom osovine pumpe. Najjednostavnija verzija aksijalne klipne pumpe je sa nagibnom pločom. Cilindar ili barel okreće se uz pomoć osovine pumpe koju pokreće elektromotor. Klipovi pumpe su povezani sa nagibnom pločom pomoću posebnih sjedišta. Kako osovina okreće cilindre, klipovi slijede rotaciju i klize po nagibnoj ploči, uzrokovajući linearno pomicanje klipova. Na suprotnoj strani cilindra nalazi se razvodna ploča koja ima dva otvora, jedan služi za usis pumpe, a drugi za tlačenje. Kapacitet aksijalne klipne pumpe ovisi isključivo o broju klipova, veličini klipova i najbitnije, kutu nagibne ploče. Što je kut veći, veći je stapaj, i samim time i kapacitet pumpe. Svaki klip ima svoj vlastiti ciklus pumpanja te ovakva pumpa ima skoro jednoliku dobavu.

Također postoji i verzija aksijalne klipne pumpe koja je izvedena pod kutem. Princip rada je isti kao i kod obične aksijalne klipne pumpe sa nagibnom pločom, samo kod ovakve pumpe, nagibna ploča rotira zajedno sa osovinom pumpe, te su klipovi povezani sa nagibnom pločom pomoću kuglastog ležaja. Kut pod kojim je postavljena ova pumpa varira između  $0^\circ$  -  $30^\circ$ . U teoriji, ova pumpa je efikasnija od obične aksijalne klipne pumpe radi postizanja manjeg trenja između nagibne ploče i klipova pumpe.



Slika 4.12 - Aksijalna klipna pumpa sa nagibnom pločom

#### 4.2.3. Karakteristike klipnih i stapnih pumpi

Kapacitet pumpi oscilira ovisno o broju klipova ili stapova. Proizvode se kao horizontalne ili vertikalne. Kod horizontalnih konstrukcija snage klipne pumpe iznosi do 150 kW ( 200 KS ). Konstrukcijski su jednostavnije i lakše i pristupačnije pri održavanju, dok horizontalne stapne pumpe su rangirane do 2230 kW i uglavnom imaju dva ili tri stapa, koja su ili jednoradna ili dvoradna. Vertikalne konstrukcije kod klipnih pumpi izdaju snagu do 1500 KS.

Kod pumpi sa klipovima radni tlakovi variraju od 69 do 2069 bar dok je maksimalni radni tlak koji se može postići kod stapnih pumpi oko 138 bar. Tlak koji postiže pumpa proporcionalna je snazi na radilici pumpe. Taj tlak može biti veći nego što je propisan za takvu pumpu, no onda kada se takvo što postigne, gotovo je sigurno da će doći do mehaničkog kvara, tj. loma. Da bi se to spriječilo, prekotlačni ventil je obavezan kod svake vrste pumpe a pogotovo kod stapnih ili klipnih gdje se postižu vrlo visoki tlakovi.

## Snaga pumpe

$$P [kW] = \frac{Q \cdot Ptd}{36 \cdot ME}$$

gdje je Q = kapacitet pumpe [ m<sup>3</sup>/h ]

Ptd = razvijen tlak pumpe [ bar ]

ME = mehanička efikasnost pumpe [ % ]

**Protok** pumpe Q je sveukupni volumen fluida koji je prenesen po jedinici vremena. Tim fluidom se smatra tekućina, zahvaćeni plinovi i krute tvari u određenom stanju.

**Zapremnina** pumpe D [ m<sup>3</sup>/h] je proračunati kapacitet pumpe bez gubitaka. Za jednoradne klipne i stapne pumpe ona glasi

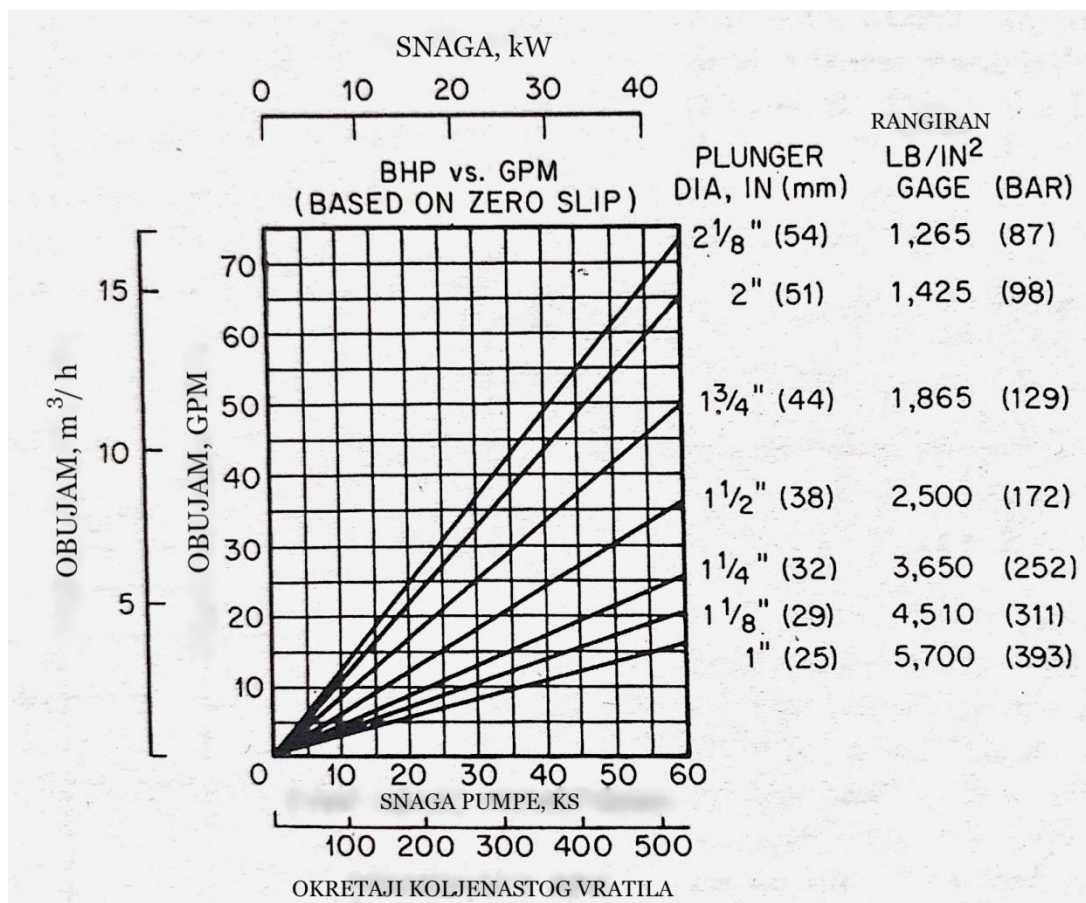
$$D = A \cdot m \cdot n \cdot s \cdot 6 \cdot 10^{-5}$$

Gdje je A = površina klipa ili stapa [ mm<sup>2</sup> ]

m = broj klipova ili stapova

n = okretaji pumpe

s = stapaj pumpe [ mm ]



Dijagram 4.6 - Dijagram klipne pumpe u ovisnosti o snazi i kapacitetu pumpe pri različitim promjerima klipa

Kapacitet pumpe raste linearno sa povećanjem snage pumpe, samim time i povećanjem okretaja radilice pumpe. Također, dijagram pokazuje i veliki utjecaj površine klipa pumpe, iz toga proizlazi da klip promjera 54 mm postiže veći kapacitet nego neki manji klipovi uz postizanje iste snage pumpe, no to ne znači da postiže i najveće radne tlakove, što je obrnuto. Površinom manji klipovi uz postignutu jednaku snagu pumpe, proizvode veće tlakove.

**Slip** je gubitak kapaciteta pumpe prikazan u postotku prilikom usisa pumpe. Sastoji se od gubitaka propuštanja cilindra  $B_1$  i propuštanje ventila  $V_1$

$$S = B_1 \cdot V_1$$

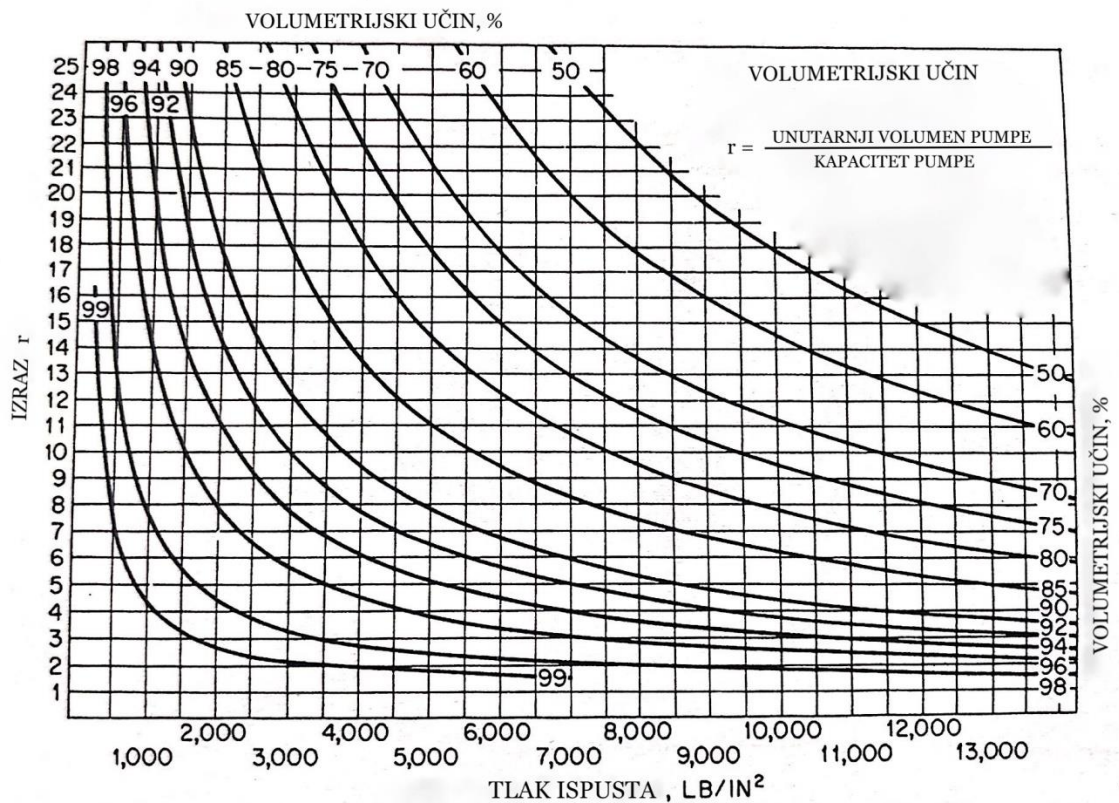
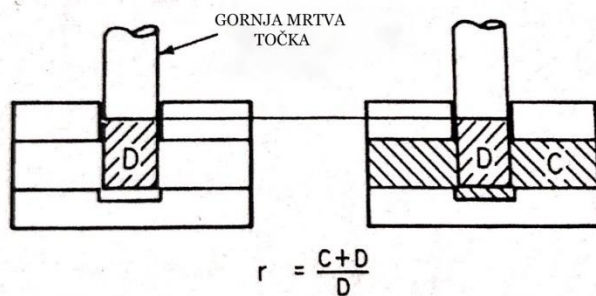


Gubitci propuštanja cilindra su uglavnom zanemarivi prilikom računanja sveukupnih gubitaka. Gubitak prilikom propuštanja ventila je protok tekućine koji se vraća nazad prilikom zatvaranja ventila. Taj gubitak može biti od 2 % do 10 %, ovisno o izvedbi i stanju ventila.

### Volumenska efikasnost

Volumenska efikasnost je omjer volumena tekućine ispuštene iz pumpe pri jednom ciklusu i volumena usisane tekućine u pumpu, izražena u postotku.

Proporcionalna je izrazu  $r$  i radnom tlaku gdje je  $r$  omjer unutarnjeg volumena fluida između ventila dok je klip u gornjoj mrtvoj točki

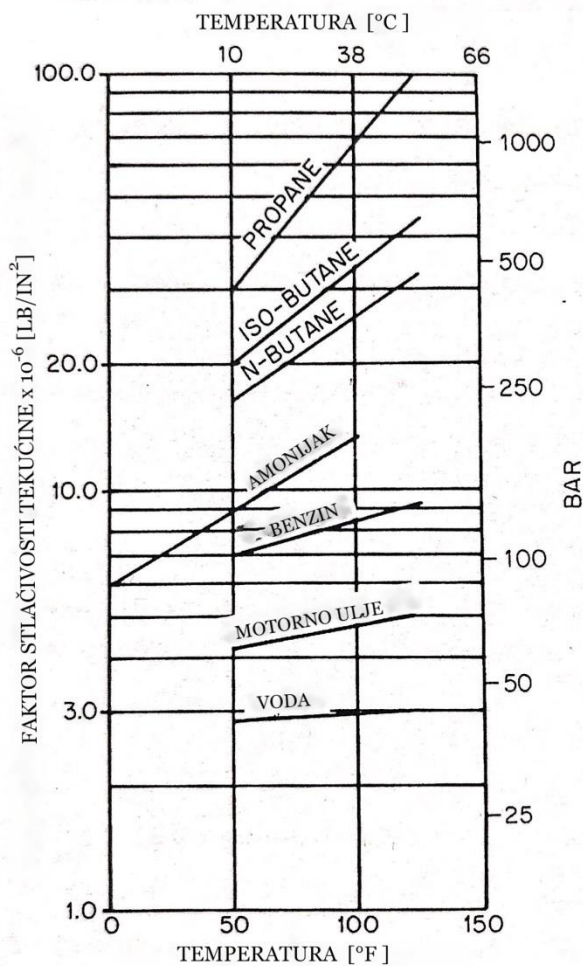


Dijagram 4.7 - Utjecaj tlaka ispusta na volumenski učin klipne pumpe

Prilikom izračuna volumenske efikasnosti pumpe ne može se potpuno točno odrediti volumen ispuštene tekućine pri jednom ciklusu ( okretaju ) pumpe zbog stlačivosti tekućine. Stlačivost se u pravilu zanemaruje ukoliko je fluid voda ili neka druga tekućina do izlaznog tlaka od 414 bar. Ukoliko je postignuti tlak veći od navedenog, stlačivost tekućine igra veliku ulogu pri određivanju stvarnog kapaciteta pumpe prilikom njenog ispusta.

$$VE = 1 - P_{td} \cdot \beta \cdot r - S$$

Gdje je  $\beta$  faktor stlačivosti tekućine



Dijagram 4.8 - Prikaz faktora stlačivosti kod različitih vrsta tekućine i utjecajem promjene tlaka i temperature

## Mehanička efikasnost

Mehanička efikasnost klipne i stapne pumpe pri punom opterećenju i brzini iznosi oko 90% do 95%, ovisno o veličini pumpe, brzini vrtnje i konstrukciji.

% BRZINE VRTNJE	44	50	73	100
% MEHANIČKE EFIKASNOSTI	93.3	92.5	92.5	92.5

Tabela 1 - Promjena mehaničke efikasnosti klipne pumpe povećanjem brzine vrtnje izraženim u postotku

Osim brzine vrtnje, također i postignuti tlak pumpe igra ulogu kod određivanja mehaničke efikasnosti.

% MAKSIMALNO POSTIGNUTOG TLAKA	20	40	60	80	100
ME, %	82	88	90.5	92	92.5

Tabela 2 - Promjena mehaničke efikasnosti klipne pumpe povećanjem postignutog tlaka izraženim u postotku

Brzina vrtnje klipnih i stapnih pumpi iznosi od 300 do 800 okretaja po minuti ( rpm), ovisno o učinku, veličini i snazi pumpe. Da bi se održao kvalitetan radni vijek pumpe, brzina se ponekada može ograničiti sigurnosnoj brzini klipa koji iznosi 0.71 do 0.76 m/s, no također brzini vrtnje uvelike ovisi i o izboru i vrsti ventila.

Tlak psi (bar)	Slip, %		
	Pri 440 o/min	Pri 390 o/min	Pri 365 o/min
4000 (275)	11	22	34
3000 (207)	9	20	31
2000 (138)	7	18	30
1000 ( 69)	7	15	27.5

Tabela 3 - Prikaz propuštanja klipne pumpe povećanjem radnog tlaka

Kod klipnih pumpi neizbježno je izračunati opterećenje čela klipa. To je opterećenje izraženo u Newtonima koje opterećuje čelo klipa ili stapa i ležajeve pumpe. Opterećenje klipa izračunava se

$$PL = 0.1 Ptd \cdot A$$

gdje je A = površina klipa ili stapa [ mm<sup>2</sup> ]

Ptd = radni tlak pumpe [ bar ]

Centistokes	100	1,000	2,000	6,000	10,000	12,000
Slip, %	8	8.5	9.5	20	41	61

Tabela 4 - Prikaz povećanja propuštanja klipne pumpe prilikom povećanja viskoziteta radnog fluida

Brzina ispuštanja fluida kroz ventile se izračunava pomoću

$$V [m/s] = \frac{Q [m^3/h] \text{ (kapacitet fluida koji prolazi kroz ventil)} \cdot 556,6}{B \text{ (područje ispuštanja fluida), } mm^2}$$

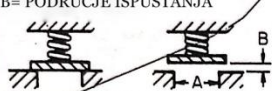

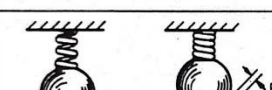
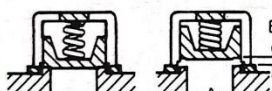
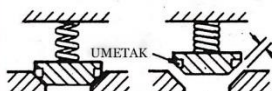
VRSTA	SKICA A=SJEDIŠTE VENTILA B= PODRUČJE ISPUŠTANJA	TLAK psi ( bar )	PRIMJENA
PLOČASTI VENTIL		5,000 (345)	ČISTI FLUIDI. PLOČA VENTILA JE METALNA ILI PLASTIČNA
LEPTIR VENTIL		10,000 (690)	ČISTI FLUIDI, KEMIJKALJE
KUGLASTI VENTIL		30,000 (2,069)	FLUIDI SA ČESTICAMA, ČISTI FLUIDI PRI VISOKOM TLAKU. KUGLASTI VENTIL JE KROMIRAN
ČEP VENTIL		6,000 (414)	KEMIJKALJE
VENTIL ZA ZAMULJENI FLUID		2,500 (172)	ZAUJENE, ZAMULJENE TEKUČINE. SA UMETKOM OD POLIURETANA

Tabela 5 - Primjena različitih vrsta ventila klipne pumpe

## 5. KVAROVI I PROBLEMATIKA KLIPNIH I ZUPČASTIH PUMPI

Pumpe su "srce" svih hidrauličnih sistema, pa zbog toga pri pojavi bilo kakvog kvara ili problematike u hidrauličnom sistemu uglavnom je pumpa ta koja preuzima krivicu.

Zapravo, vrlo rijetko se dogodi kvar pumpe koji nije usko povezan sa nekim drugim ne baš tako očitim problemom u hidrauličnom sistemu. Uglavnom 90%-95% kvarova i problematika pumpi se događa zbog nekih od sljedećih uzroka :

- aeracija
- kavitacija
- kontaminacija
- pregrijavanje pumpe
- postizanje prevelikog radnog tlaka
- pogrešan radni fluid

Svaki od ovih uzroka radi svoje specifične štete za pumpu te je zato vrlo važno na vrijeme reagirati i dijagnosticirati problem.

### **Aeracija**

Pojava raspršenih mjehurića zraka u hidrauličnom sistemu se naziva aeracija. Implozija se događa kad se mjehurići zraka podvrgnu radnom tlaku na izlazu iz pumpe te uzrokuju lokalna oštećenja unutarnjih dijelova pumpe sa velikim povećanjem temperature.

Pojava aeracije popraćena je glasnim, pucketvim zvukovima koji su intenzivniji što je radni tlak pumpe veći.

### **Kavitacija**

Uzrok je mehaničke prirode, tj. smanjenje tlaka u tekućini bez promjene temperature okoliša. Prema Bernoulijevoj jednadžbi, tlak u kapljevinu koja struji manji je na mjestima gdje je strujanje brže. Mjestimice, osobito uz oštre rubove stijenki ili uz rubove uronjenoga tijela, zbog jakoga lokalnog ubrzavanja strujanja tekućine tlak se bitno smanjuje. Ako na tim mjestima tlak padne ispod kritičnoga, kapljevina će se početi isparavati i pojavit će se parni mjehuri. Nastale mjehure struja tekućine odnosi u područje višega tlaka, gdje dolazi do njihove implozije kada para iz mjehura ponovno prelazi u kapljevinu. Pri imploziji nastaju vrlo visoki (udarni) tlakovi koji razorno djeluju na unutarnje dijelove pumpe. Pojednostavljeno, kavitacija nastaje kada tekućina ne popuni u potpunosti prostor usisa pumpe.



Zvuk kavitacije vrlo je sličan zvuku aeracije, a nastaje zbog prevelikog broja okretaja pumpe, ograničenog ili predugačkog usisa pumpe ili prevelikog viskoziteta radnog fluida.

### **Kontaminacija**

Svaki materijal koji se razlikuje od prvobitnog fluida koji se koristi u određenom hidrauličnom sistemu. Kontaminacija može biti krupne čestice, tekućine ili plinovi. Većina djeluje na rad pumpe tako što abrazivno šteti dijelovima pumpi sa malim tolerancijama i zračnostima poput klipnih pumpi. Time rezultira bržem trošenjem dijelova pumpi i potencijalnom uništenju.

### **Pregrijavanje pumpe**

Postizanje temperature fluida i pokretnih dijelova pumpe većih od proračunate uzrokuje velike posljedice za hidraulički sistem. Aeracija, kavitacija, kontaminacija i svi ostali navedeni čimbenici dodatno doprinose pregrijavanju pumpe. Prevelika temperatura povećava oksidaciju fluida i time bitno utječe na viskozitet radnog fluida. Pregrijavanje pumpe dovodi do "domino efekta" ka potpunom kvaru pumpe, te je zato vrlo bitno da vrijeme saznati uzrok pregrijavanja.

## **5.1. POTENCIJALNI KVAROVI KLIPNIH PUMPI**

Klipne pumpe su podobnije kvarovima nego što su to zupčaste, iz jednostavnog razloga što se sastoje od više pomičnih dijelova koji su u maloj toleranciji tj. zračnosti.



Slika 5.1. - Pojava zapaljenja klipa zbog gubitka podmazivanja koje stvara velike temperature



Slika 5.2. - Pregrijavanje klipova

Cilindri klipnih pumpi mogu biti oštećeni zbog neželjene kontaminacije i zbog nedovoljnog podmazivanja pri radu, baš kao i kod motora sa unutarnjim izgaranjem, stoga se takvi cilindri više nikada nebi trebali ponovno koristiti. Gubitak ili nedovoljno podmazivanje se može dogoditi radi premalog viskoziteta zbog pregrijavanja pumpe, krivog odabira ulja ili zbog prevelikog broja okretaja pumpe ( overspeed ). Ukoliko dođe do oštećenja cilindra, gotovo uvijek će biti oštećeni vanjski plašt cilindra. Ta pojava se događa jer centrifugalna sila klipove nastoji izbaciti iz centra, pa kada se izgubi uljni film, cilindar se ošteti upravo po vanjskom rubu. Također, važno je naglasiti da ukoliko dođe do oštećenja klipa, obavezno će biti i cilindar oštećen.



Slika 5.3. - Odvajanje sedla klipa



Zbog aeracije, kavitacije, visoke temperature i prethodno navedenih razloga i razvodna ploča klipne pumpe također može biti oštećena. Na sreću, cilindri klipne pumpe se mogu honovati, odnosno proširiti za nekoliko mikrometara, te se time dobije nova površina cilindra spremna za upotrebu.

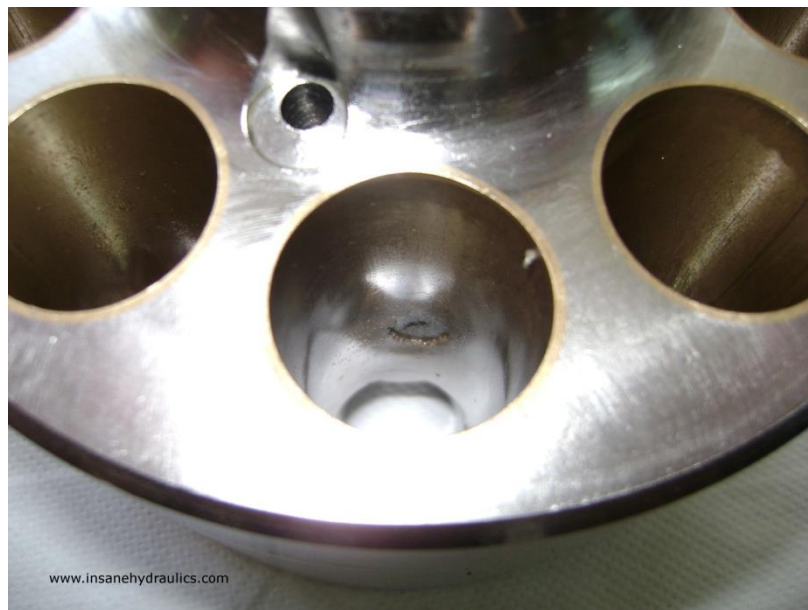
Kao što kontaminacija može oštetiti plašt cilindra, jednako može oštetiti i klip, no razlika je u tome što se oštećeni klip ne može popraviti honovanjem ili sličnim načinom te je obavezna zamjena sa novim klipom.



Slika 5.4. - Oštećenje klipa uslijed nedovoljnog ili gubitka podmazivanja



Slika 5.5 - Oštećenje stapa pumpe do te mjere da je došlo do puknuća stapnog prstena



Slika 5.6 - Oštećenje plašta cilindra. Istovremeno dolazi i do oštećenja klipa



Slika 5.7. - Oštećenje razvodne ploče klipne pumpe uslijed djelovanja kavitacije ili aeracije

Ukoliko sedla klipova nisu u proračunatim tolerancijama, postoji mogućnost da dođe do uzdizanja klipa. Time se sedlo potpuno odvoji od klipa i dolazi do katastrofalnih posljedica za pumpu. Prilikom usisnog ciklusa klipa, stvara se podtlak ili vakuum koji stvara opterećenje na sedlo klipa, a pri ispustu tlak, koji također stvara opterećenje ali u suprotnom smjeru. Time je sedlo klipa konstantno pod opterećenjem. Ta pojava se također naziva i razlika diferencijalnih tlakova. Razlika diferencijalnih tlakova se odnosi na tlak, odnosno podtlak prilikom usisa pumpe i tlak ispusta, te on ne smije prijeći 10 psi ( 0,7 bar ) inače dolazi do prethodno navedenih posljedica. Zvuk koji pumpa počne proizvoditi kod uzdizanja klipa je intenzivno lupanje koje se povećava povećanjem brzine vrtnje pumpe.



Slika 5.8. - Redosljed oštećenja nagibne ploče uslijed uzdizanja klipa. Na donjoj strani se vidi početak uzdizanja klipa, a u nastavku krajnji ishod kada se sedlo klipa u potpunosti odvoji

Osim uzdizanja klipa, prevelika razlika diferencijalnih tlakova može naštetiti pumpi na način da se sedlo klipa počinje zaobljivati. Zaobljivanje sedla klipa je početna faza potpunog odvajanja, odnosno puknuća sedla klipa i klipa. Također postoji mogućnost i puknuća osovine pumpe, no takvi kvarovi nisu česti iz razloga što da do takvog kvara dođe, mora postojati odstupanje na osovini ili doći do jako velikog preopterećenja pumpe.

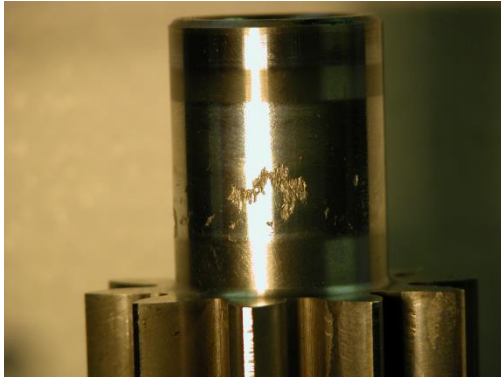
U suštini, svaki kvar pumpe potencira skori kvar na drugoj komponenti pumpe, te je zato obavezan popravak pri bilo kakvom odstupanju od normalnog rada.

## 5.2. POTENCIJALNI KVAROVI ZUPČASTIH PUMPI

Zupčasta pumpa iako na prvi pogled djeluje jednostavnija, odnosno manje kompleksna u usporedbi sa klipnom pumpom, što na kraju krajeva i je, no ipak zahtjeva jednako čestu kontrolu zbog neželjenih mogućih kvarova iz razloga što za razliku od klipne pumpe, radni fluid može biti nešto viskozniiji i prljaviji nego kod klipne pumpe.

Kako svaki zupčanik zupčaste pumpe ima svoj ležaj, svaki mogući luft ili odstupanje može dovesti do iskrivljenja ili čak u ekstremnim situacijama i do puknuća osovine, no naravno to je sve još više moguće ako pumpa radi pod prevelikim opterećenjem.

S vremenom je logično očekivati kvar ležaja pošto je to ipak "potrošni materijal", no svejedno važno je na vrijeme reagirati. U pravilu, pogonski ležaj je prvi podoban za izmjenu. Ako dođe do toga, obavezno je potrebno pregledati i zamjeniti i susjedni.



Slika 5.9. - Početak oštećenja ležaja zupčaste pumpe



Slika 5.10 - Potpuno oštećenje ležaja

Kontaminacija kod zupčastih pumpi može djelovati razorno. Ukoliko u pumpu uđe veća kruta kontaminacija, ona se može zaglaviti u međuzupčanom prostoru i onda gotovo sigurno dolazi do neke vrste puknuća, bilo to zubaca zupčanika ili osovine.



Slika 5.11. - Ekstremno oštećenje osovine i zubaca zupčaste pumpe uslijed ulaza veće kontaminacije u prostor pumpe koja je uspjela zaglaviti zupčanike i samim time ih i devastirati



Slika 5.12. - Primjer postojanja manje kontaminacije u pumpi





Slika 5.13. - Kontaminacija koja sa vremenom obod pumpe izgrebe u mjeri nalik pjeskarenju

Kavitacija i aeracija kod ovih pumpi nije tako česta, no i dalje je prisutna. Posljedica će biti oštećenje kućišta pumpe na mjestima gdje je došlo do impluzije mjehurića, u pravilu, najčešće se oštećenja mogu pronaći na tlačnoj strani pumpe.



Slika 5.14. - Pojava kavitacije

Kod zupčastih pumpi pri proizvodnji i ponovnom sastavljanju važan je redosljed i okretni moment stezanja vijaka pumpe propisan od proizvođača . Ukoliko dođe do pogrešnog/ prejakog stezanja pumpe može rezultirati bržem trošenju dijelova pumpe.



Slika 5.15. - Pumpa zategnuta van specifikacija koje izdaje proizvođač



Slika 5.16. - Pumpa pretegnuta u toj mjeri da zupčanik naliježe na obod pumpe

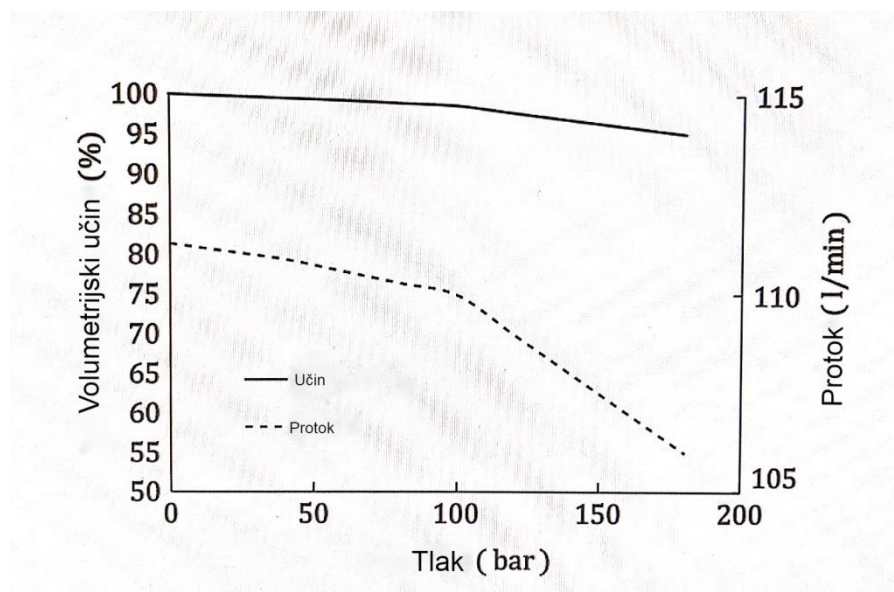


## 6. USPOREDBA UČINA KLIPNIH I ZUPČASTIH PUMPI

Pri uspoređivanju ovih dviju pumpi važno je naglasiti da općenito klipne i stapne pumpe postižu puno veći radni tlak naspram zupčastih i samim time se ni ne koriste u postrojenjima i sustavima gdje veći radni tlak nije potreban. Unatoč tome, klipne pumpe su vrlo kompleksnije i sastoje se od više zasebnih dijelova nego zupčaste, te su samim time i skuplje.

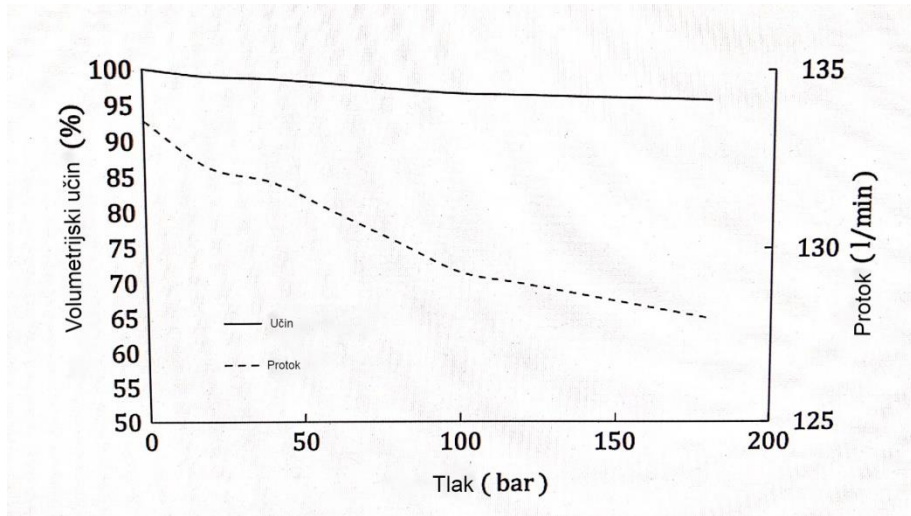
Prilikom eksperimentalnog uspoređivanja jedini mjerodavni način usporedbe je da obje pumpe imaju isti obujam i istu brzinu vrtnje.

Uzevši primjer da zupčasta pumpa ima obujam od  $74.2 \text{ cm}^3$  po okretaju te maksimalnu brzinu vrtnje od 2700 o/min, radni tlak takve zupčaste pumpe iznosi 170 bar dok maksimalni 210 bar.

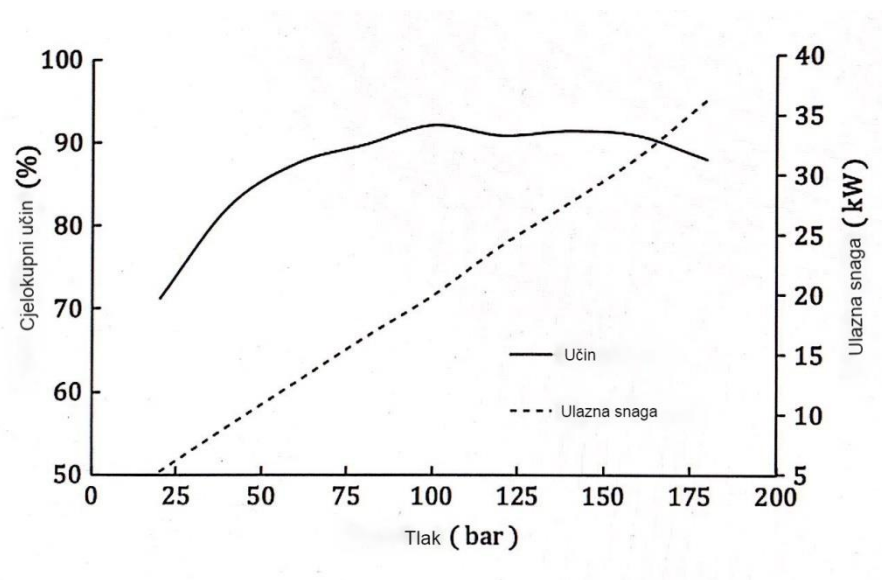


Dijagram 5.1 - Volumetrijski učin zupčaste pumpe pri brzini vrtnje od 1500 o/min

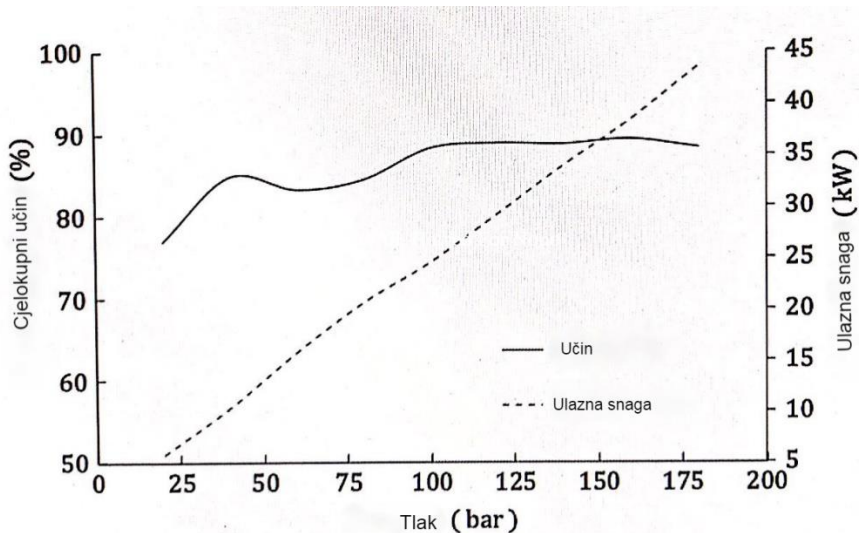
Pri brzini od 1500 o/min, volumetrijski učin pri tlaku od 40 bar pada sa 99% na 95 % pri tlaku od 180 bar. Dok pri brzini od 1800 o/min, volumetrijski učin pada sa 98% na 96% pri jednakim tlakovima.



Dijagram 5.2 - Volumetrijski učin zupčaste pumpe pri brzini od 1800 0/min

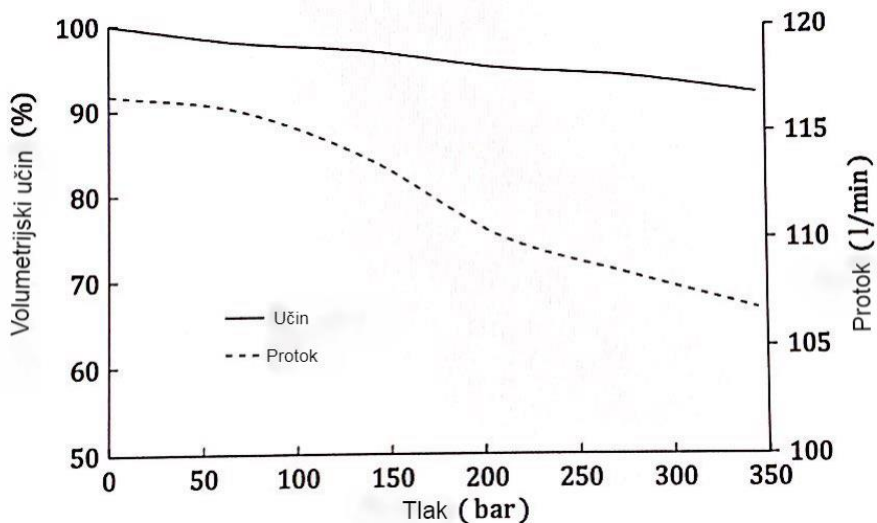


Dijagram 5.3 - Cjelokupni učin zupčaste pumpe pri brzini od 1500 0/min



Dijagram 5.4 - Cjelokupni učin zupčaste pumpe pri brzini od 1800 o/min

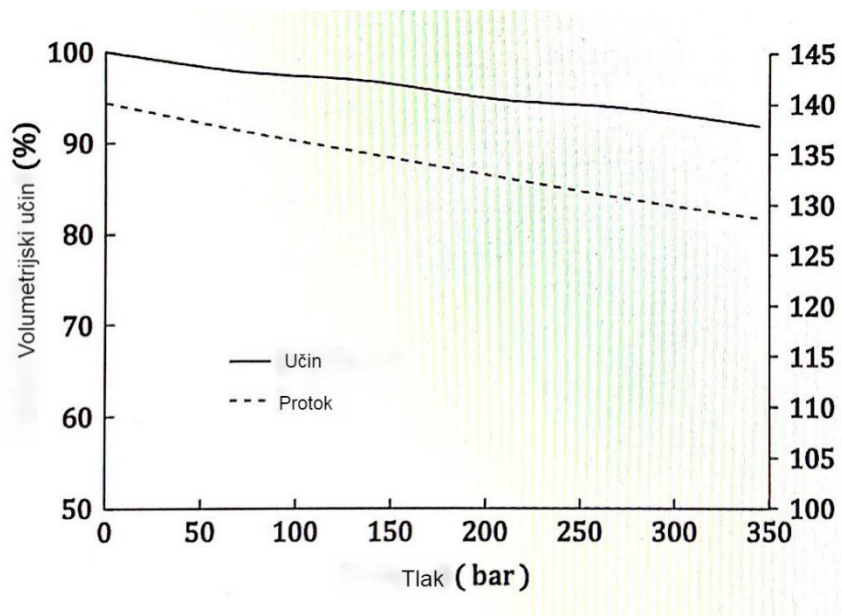
Klipna pumpa jednakog obujma postiže veću brzinu vrtnje, no ono najbitnije što ih razlikuje je što klipna pumpa postiže znatno veće radne tlakove (oko 310 bar). Iako je dizajnirana da radi pri većim brzinama vrtnje, karakteristike su joj dijagramski prikazane pri brzini od 1500 o/min i 1800 o/min kao i kod zupčaste pumpe radi direktne usporedbe.



Dijagram 5.5 - Volumetrijski učin aksijalne klipne pumpe pri brzini od 1500 o/min

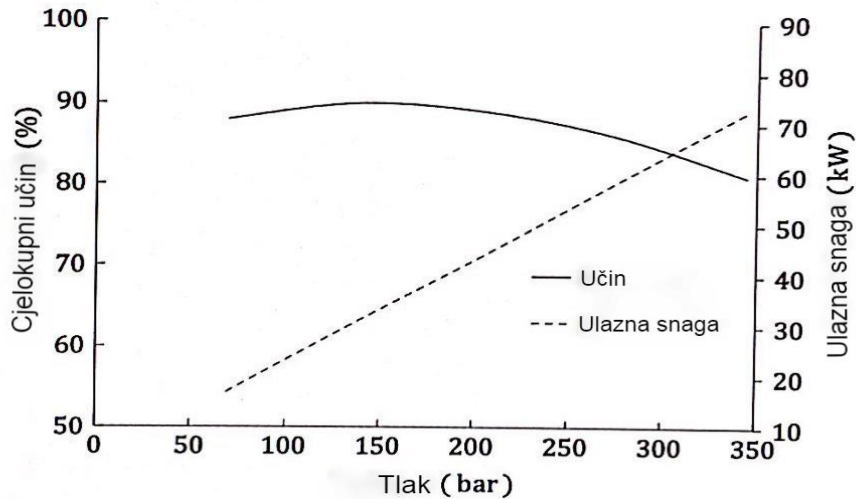
Volumetrijski učin pri 1500 o/min i 70 bar radnog tlaka pada sa 98% na 92 % pri 350 bar. Uspoređujući zupčastu i klipnu pumpu pri istom tlaku od 70 bar može se zaključiti da zupčasta pumpa ima nešto bolji volumetrijski učin od 99% .

Pri brzini vrtnje od 1800 o/min, volumetrijski učin pada sa 98% na 92% pri tlaku od 340 bar. Iako su klipne pumpe skuplje u proizvodnji, cijena je opravdana izuzetnim karakterteristikama, više od 90% volumetrijskog učina pri tlaku od 340 bar je više nego zadovoljavajući rezultat.

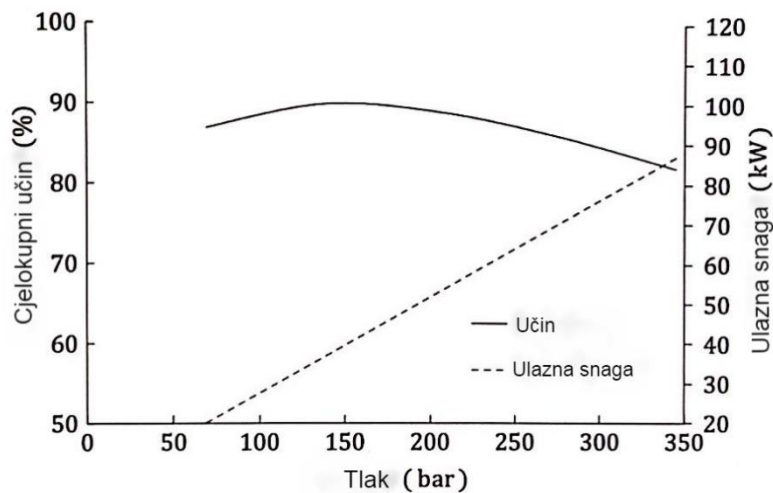


Dijagram 5.6 - Volumetrijski učin aksijalne klipne pumpe pri brzini od 1800 o/min

Cjeloukupni učin klipne pumpe uključujući gubitke je također visok ( >88 % ) za tlakove ispod 200 bar. Učin pri brzini od 1800 o/min je veći nego pri 1500 o/min iz razloga što gubici pretežno imaju veze sa radnim tlakom a ne brzini vrtnje. Nadalje, kod zupčaste pumpe cjelokupni učin iznosi 92% pri brzini vrtnje od 1500 o/min, dok pri brzini od 1800 o/min pada na 88% .



Dijagram 5.7 - Cjelokupni učin aksijalne klipne pumpe pri brzini od 1500 o/min



Dijagram 5.8 - Cjelokupni učin aksijalne klipne pumpe pri brzini od 1800 o/min

U suštini, volumetrijski učin zupčaste pumpe sa iznosom od 95 % na više je moguć ako radni tlak pumpe iznosi do 100 bar, no također važno je naglasiti da volumetrijski učin zupčaste pumpe pada kada se temperatura fluida poveća, time se viskozitet smanjuje i nastaju veća propuštanja kroz međuzupčaste prostore pumpe.

Kod izračuna cjelokupnog učina zupčaste pumpe oduzima se gubitak mehaničke energije zbog djelovanja trenja i gubitak hidraulične energije radi propuštanja pumpe. Kod zupčaste pumpe na jednoj strani pumpe ( tlačnoj ) postiže se visok tlak ( maksimalni radni tlak takve pumpe ) dok na drugoj ( usisnoj ) tlak je jednak kao i u kućištu pumpe ( uglavnom ne

prelazi preko 4 bar ). Ova razlika tlakova  $\Delta P$  ( tlak na izlazu iz pumpe - tlak u kućištu pumpe) pomnožena sa propuštanjem pumpe daje iznos hidrauličnog gubitka pumpe. Klipne pumpe također imaju iste gubitke kao i kod zupčaste pumpe, no razlika je što su mehanički gubici trenjem znatno veći kod klipne pumpe nego što je to slučaj kod zupčaste. Razlog tome je što se klipna pumpa sastoji većinom od pokretnih djelova, stoga trenje utječe na više od 80% gubitaka pumpe. Propuštanja klipne pumpe uvelike utječu na tolerancije između klipa i cilindra, stoga ona mora biti dovoljna da se postigne nesmetano podmazivanje pri radu no samim time i ne prevelika kako bi propuštanja fluida bila što manja.

## 7. ZAKLJUČAK

Cilj ovog završnog rada bio je pokušati približiti i objasniti zašto se pumpe sa razlogom zovu "srce" svakog broskog i vanbrodskog hidrauličkog sistema i zašto im se treba pridonijeti tako velika pažnja.

Prije svega važno je naglasiti da niti jedan hidrauličko - mehanički uređaj nije savršen niti je to moguće postići, tako da svaka vrsta pumpe ima svoje prednosti i nedostatke koje možda neka druga neće ili hoće imati.

U današnjem svijetu, ekonomičnost je jedna od najbitnijih stavki prilikom proizvodnje bilo kakvih uređaja, pa tako i pumpi, te se zato ne smije zaboraviti na to da su najrasprostranjenije pumpe one koje su najjeftnije u proizvodnji.

Iz dana u dan, tehnologija ide naprijed i razvijaju se nove vrste hidrauličkih pumpi no ključna stvar je ta što nikada neće postojati savršena pumpa. Pumpa koja može zadovoljiti sve uvjete, počevši od raznovrsnosti radnog fluida, dobave, maksimalno postignutog tlaka, stupnja iskoristivosti, što manjih gubitaka i slično.

Kako u teoriji, tako i u praksi, jednostavno je nemoguće. Upravo iz tog razloga, pumpa mora biti proračunata i odabrana upravo za određeni hidraulički sklop gdje su poznati svi parametri prema kojima će se odabrati pumpa. Iz toga se može zaključiti da je usporedba pumpi mjerodavna isključivo ako su poznate karakteristike postrojenja u kojeg ona dolazi.

## LITERATURA

- [1] George E. Totten, David K. Wills, Dierk G. Feldmann 2001, *Hydraulic Failure Analysis: Fluids, Components and System Effects*, West Conshohocken
- [2] Igor J. Karassik, William C. Krutzsch, Warren H. Fraser 1975, *Pump Handbook*, New Jersey Institute of Technology
- [3] Roy L. Harrington 1971, *Marine Engineering*, The Society Of Naval Architects And Marine Engineers, Jersey City
- [4] Edward P. Goehring 1944, *Marine Piping Handbook*, Cornell Maritime Press, New York
- [5] Dr. J. Cowley 1992, *The Running And Maintenance Of Marine Machinery*, Institute of Marine Engineers, 6th Edition
- [6] Željko Kurtela 2000, *Osnove Brodostrojarstva*, Veleučilište U Dubrovniku, Dubrovnik
- [7] CMA CGM Andromeda, *Instruction And Operating Manual*
- [8] MSC LONDON, *Gear Pumps and Pump Unit Manual*
- [9] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidrauli%C4%8Dka\\_pumpa](https://hr.wikipedia.org/wiki/Hidrauli%C4%8Dka_pumpa)
- [10] Fazil Canbulut, Cem Sinanoglu 2004, *An Investigation On The Performance Of Hydrostatic Pumps Using Artificial Neural Network*
- [11] Paul W. Michael 2014, *An Investigaton Of Viscosity Effects On Axial Piston Motor Efficiency*, Milwaukee School Of Engineering

[12] John S. Cundiff 2001, *Fluid Power Circuits And Controls: Fundamentals And Applications*, Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia USA

## **POPIS TABLICA**

Tabela 1- Promjena mehaničke efikasnosti klipne pumpe povećanjem brzine vrtnje izraženim u postotku.....	34
Tabela 2- Promjena mehaničke efikasnosti klipne pumpe povećanjem postignutog tlaka izraženim u postotku.....	34
Tabela 3- Prikaz propuštanja klipne pumpe povećanjem radnog tlaka.....	35
Tabela 4- Prikaz povećanja propuštanja klipne pumpe prilikom povećanja viskoziteta radnog fluida.....	36
Tabela 5- Primjena različitih vrsta ventila klipne pumpe.....	36





